

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Общая теория электромеханического преобразования энергии
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Модернизация лабораторного стенда с ЧПУ на шаговых
двигателях»

Студент

А.О. Кравченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Ю.П. Петунин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы к.т.н., профессор В.В. Ермаков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Анализ лабораторного стенда	8
2 Разработка лабораторного стенда с ЧПУ на шаговых двигателях	10
2.1 Выбор шагового двигателя для лабораторного стенда	10
2.2 Математические модели шагового двигателя	21
2.3. Управление шаговым двигателем	26
2.3.1 Режим полного шага	26
2.3.2 Дробление шага	27
2.3.3 Векторное управление	29
2.3.4 Обзор решений для управления шаговыми двигателями	33
2.3.5 Требования к системе управления шаговым двигателем лабораторного стенда	35
2.3.6 Обзор программ применяемых для работы с платами3	36
2.3.7 Описание контроллера VRI-сnc	37
2.3.8 Описание программы для управления лабораторным стендом с ЧПУ на контроллере VRI-сnc	44
3. Программа курса лабораторных работ	52
3.1 Компоновка лабораторного стенда	52
3.2 Лабораторная работа №1 «Ознакомление с лабораторным стендом и принципами работы шагового двигателя»	57
3.3 Лабораторная работа №2 «Эффект резонанса шагового двигателя»	58
3.4 Лабораторная работа №3 «Знакомство с принципами Работы ЧПУ»	58
3.5 Лабораторная работа №4 «Математическое моделирование шагового двигателя в среде Matlab Simulink»	58
3.6 Оформление отчетов по лабораторным работам	65
3.7 Указания по технике безопасности	66

3.8.Специальные вопросы обеспечения безопасности	66
Заключение	68
Список используемых источников	70

Введение

В последние годы многие вузы больше склоняются к виртуальной форме выполнения лабораторных работ на персональных компьютерах, к примеру, в таких пакетах как MatLab, Elcut. Этому есть ряд объективных причин, таких как отсутствие затрат на покупку дорогостоящих универсальных стендов, отсутствие необходимости их технического обслуживания, безопасность выполнения лабораторных работ, возможность применения дистанционных формы обучения и др.

Методически неправильно полностью подменять лабораторные работы на реальных стендах виртуальными программами. Компьютерные технологии обязаны лишь дополнять и углублять знания студентов о физических свойствах и устройстве реальных объектов исследования.

Подготовка магистров предусматривает педагогические практики, самостоятельные инженерные разработки и научные исследования, выполнение и защиту магистерской диссертации. По всем этим направлениям эффективно применяются учебные стенды.

Все учебные стенды могут использоваться для подготовки дипломных проектов и магистерских диссертаций по различным специальностям.

Будущий магистр может принимать участие в разработке конструкторских вариантов различных учебных станков, используя свои знания по теории механизмов и машин, теоретической механике и сопромату; участвовать в студенческих конференциях, где выступает сам и слушает доклады других студентов; вникает в проблемы, связанные не только с проектированием механической части станков, но и электрооборудования, электроники и программного обеспечения.

При использовании учебных стендов возможны следующие формы участия студентов и приобретения ими опыта:

- Наблюдение, знакомство, изучение, получение знаний, умений, навыков.

- Разработка вариантов для изготовления.

-Участие в изготовлении.

-Поиск информации о комплектующих, об аналогах, научных исследованиях в литературе, каталогах, интернете, на выставках, на предприятиях.

-Изучение и применение CAD/CAM систем.

-Изучение английского языка.

-Работа электронными каталогами, базами данных.

-Решение дидактических проблем.

-Решение организационных, производственных, научно-технических, экономических проблем.

-Решение проблем конструкции, технологии, достижение компромиссов.

-Оптимизация, оценка, принятие решений.

-Написание статей, инструкций, пособий.

-Знакомство с современным состоянием изучаемых проблем, сравнение с зарубежными решениями и образцами.

-Понимание конкретных взаимосвязей теории с практикой.

-Помощь в организации выставок, проведении семинаров.

-Знакомство со смежными специальностями.

-Приобретение навыков самостоятельной работы.

-Выбор места трудоустройства.

В наше время оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) является важным производственным инструментом. Преимущества станков с ЧПУ:

-Высокая производительность, сочетаемая с гибкостью. (возможность автоматически перенастраиваться)

-Одновременная обработка многих плоскостей (включая крепежные отверстия) выполняемая за одну установку

-Присутствие устройства автоматической замены инструмента (магазин с предварительно настроенным инструментом)

-Управление программой дает возможность возмещать износ оборудования в процессе эксплуатации. Причем проведение такой компенсации возможно как в ручном режиме, так и в автоматическом.

-Быстрая перенастройка на обработку разных деталей

-Возможность получения поверхностей со сложной пространственной формой

-Отсутствие влияния человеческого фактора, как следствие увеличение стабильности качественных характеристик продукции.

Числовое программное управление плотно вошло в жизнь каждого через бытовые приборы. С появлением 3D принтеров, практически каждый может себе позволить домашний станок с ЧПУ для мелкосерийного производства или хобби.

В условиях рыночной экономики основными требованиями к системе управления приводом, применяемой в оборудовании с ЧПУ, можно назвать максимальную простоту и надёжность при минимальных габаритах.

Системы приводов с шаговым двигателем более компактны, достоверны и надёжны, кроме того они прекрасно функционируют в неблагоприятных погодных условиях

Шаговый двигатель это электродвигатель, преобразующий входные управляющие импульсы в механическое передвижение. По сравнению с другими электрическими машинами, он обладает рядом достоинств:

-Возможна работа без обратной связи, это позволяет упростить и удешевить систему управления;

-Не накапливается ошибка положения ротора ;

-Шаговый двигатель управляется дискретными сигналами, что хорошо совмещается с управляющими системами цифрового исполнения.

Целью магистерской диссертации является модернизация лабораторного стенда с ЧПУ на шаговых двигателях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ имеющегося на кафедре лабораторного стенда.
- Разработать мероприятия и произвести модернизации стенда
- Разработать программу курса лабораторных работ.

В указе президента Российской Федерации В.В. Путина «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 7 мая 2018 года, одним из направлением является повышение производительности труда.[16] Повышение производительности труда невозможно без применения новых технологий и оборудования с числовым программным управлением. В связи с этим необходимо повышать уровень знаний выпускников ТГУ в данной области, и для этого проводить не только теоретические занятия, но и практические, для чего актуально создавать специальные испытательные и демонстрационные стенды. Обозначенные выше положения говорят об актуальности проблемы.

Практическая значимость решения поставленных задач данной работы является новая конструкция лабораторного стенда и программа курса лабораторных работ, для более глубокого и наглядного понимания обучающимися принципов работы шагового двигателя и системы числового программного управления. Практические знания, полученные в ходе работы на лабораторной установке, помогут молодым специалистам быстро интегрироваться на рабочем месте, и показать себя грамотными и перспективными работниками в самые сжатые сроки.

1. Анализ лабораторного стенда

На кафедре имеется стенд с шаговым двигателем рисунок 1

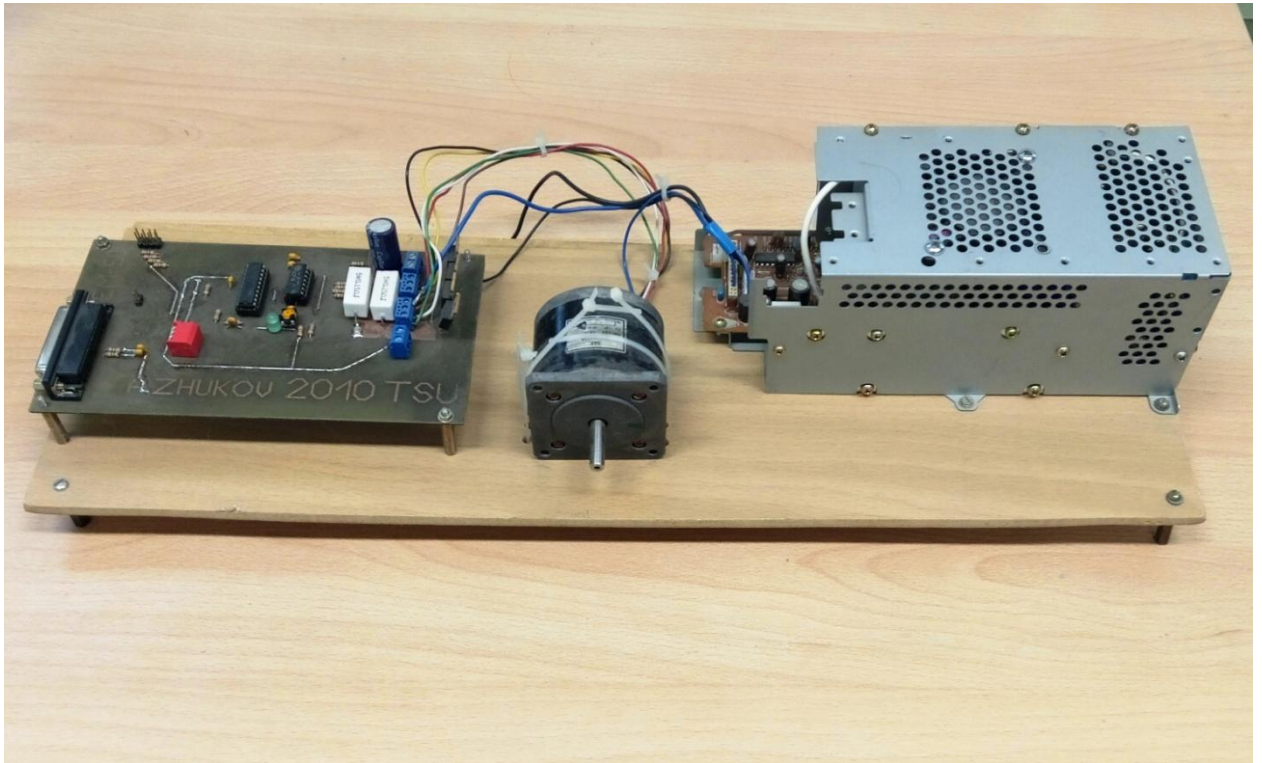


Рисунок 1 - Лабораторный стенд

В результате осмотра и поиска информации по данному стенду, получены данные:

- Плата управления стендом не идентифицирована (неизвестно по какому принципу идет управление шаговым двигателем – тип микросхемы прочитать не удалось).

- Плата управления подключается к компьютеру через LPT порт.

- Программа управления для работы со стендом неизвестна.

- Блок питания неисправен.

- Статическая и динамическая нагрузка или ее имитация для шагового двигателя отсутствует.

После проведенного анализа полученных данных принято решение об отказе от модернизации данного стенда и разработке нового лабораторного стенда с ЧПУ на шаговых двигателях.

Определены следующие требования к лабораторному стенду:

-Простота конструкции и высокая степень ремонтпригодности (минимальное количество элементов электрической схемы и механической части, ремонт может осуществить студент).

-Наглядная демонстрация работы одной оси станка с числовым программным управлением.

-передача механической энергии от шагового двигателя к рабочему органу «имитация ШВП» (ШВП - шарико–винтовая передача).

-Программа управления простая, наглядная, в свободном доступе (не требует покупки лицензии).

-Управление стендом осуществляется через персональный компьютер

-Минимальные экономические затраты

Для разработки лабораторного стенда с учетом данных критериев, необходимо:

-Выбрать шаговый двигатель.

-Выбрать метод управления шаговым двигателем

-Выбрать и изготовить плату управления шаговым двигателем

-Разработать конструкцию стенда.

2. Разработка лабораторного стенда с ЧПУ на шаговых двигателях

2.1. Выбор шагового двигателя для лабораторного стенда

Систематизировать шаговые двигатели возможно по разнообразным критериям, существует большое количество классификаций шаговых двигателей, рассмотрим некоторые из них.

2.1.1. По виду связи ротора и статора:

- С механической связью.
- С электромагнитной связью.

«Реверсивные импульсные двигатели храпового типа, получили широкое распространение из двигателей с механической связью статора и ротора. У таких двигателей шаг обработки постоянен и распознается только зубцовым делением храпового колеса. По этой причине возможно предотвратить допущение ошибок в работе системы за счёт двигателя. Низкое быстродействие этих двигателей приводит к уменьшению их использования низкочастотными импульсными устройствами, такими как счётчики, шаговые искатели, различного типа регистраторы, программные устройства и т. д.» [30].

В настоящее время шаговые двигатели с механической связью намного менее популярны, по сравнению с шаговыми двигателями с электромагнитной связью.

«Двигатели с электромагнитной связью ротора и статора широко применимы, потому что характеризуются высокими динамическими параметрами. По факту они представлены в виде многофазных синхронных двигателей, однако, в отличие от предыдущих, они сохраняют синхронизм как при движении ротора, так и при пуске, торможении и реверсе, кроме того они предполагают долговременную фиксированную стоянку ротора в момент прохождения постоянного тока по обмоткам ротора» [29].

2.1.2. По виду перемещения ротора

- Поворотные шаговые двигатели
- Линейные шаговые двигатели

У поворотного типа двигателей ротор совершает вращательное движение, а у линейного типа – поступательное.

Схема, иллюстрирующая работу линейного шагового двигателя представлена на рисунке 2.

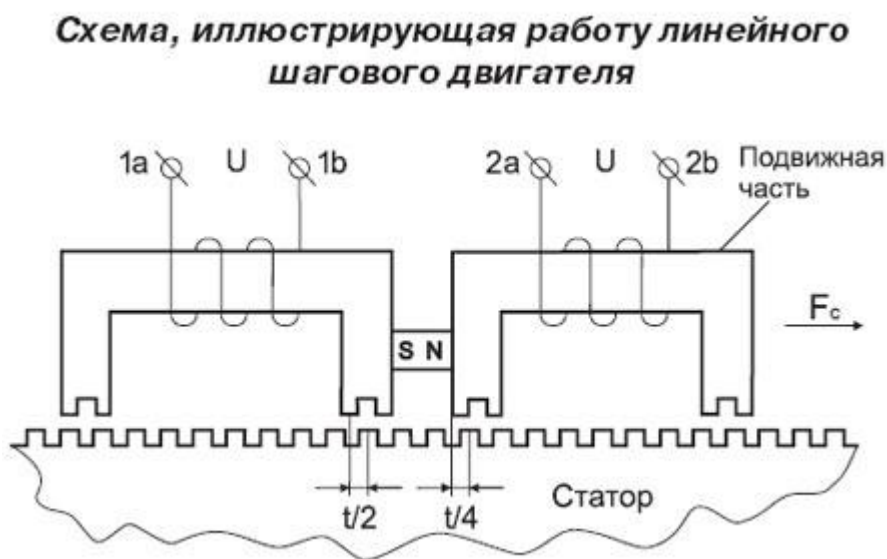


Рисунок 2-Линейный шаговый двигатель.

2.1.3. По конструктивным особенностям.

- С переменным магнитным сопротивлением
- С постоянными магнитами
- Гибридные двигатели
- Биполярные и униполярные

2.1.3.1 Двигатели с переменным магнитным сопротивлением

«Шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением насчитывают несколько полюсов на статоре и ротор выполнен зубчатой формы из магнитомягкого материала. Намагниченность ротора отсутствует.

Упрощенная модель показана на рисунке 2 ротор имеет 4 зубца, а статор имеет 6 полюсов.

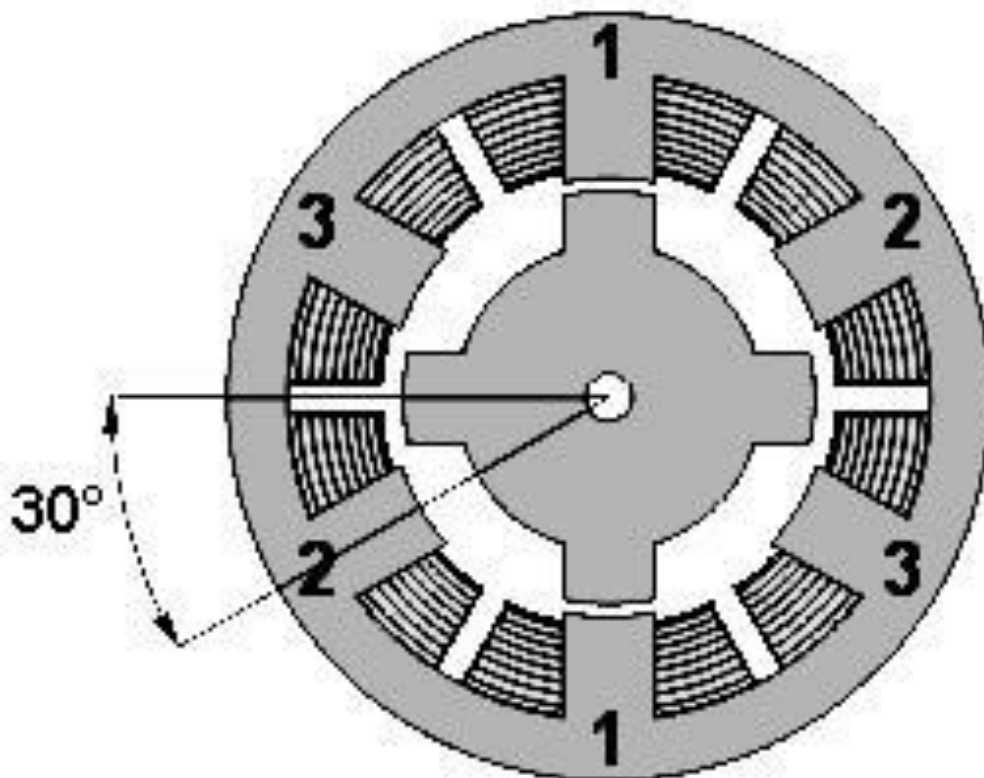


Рисунок 3 -. Двигатель с переменным магнитным сопротивлением

Чтобы произвести непрерывное вращение, необходимо включать фазы попеременно. Данный тип двигателей не восприимчив к направлению тока в обмотках. Двигатели с переменным магнитным сопротивлением мало используются.

2.1.3.2. Двигатели с постоянными магнитами

Двигатели с постоянными магнитами состоит из статора, с обмотками, и ротора, с постоянными магнитами рисунок. 4 и рисунок 5. Из-за намагниченности ротора в таких двигателях образуется большой магнитный поток и, следовательно, больший момент, чем у двигателей с переменным магнитным сопротивлением.

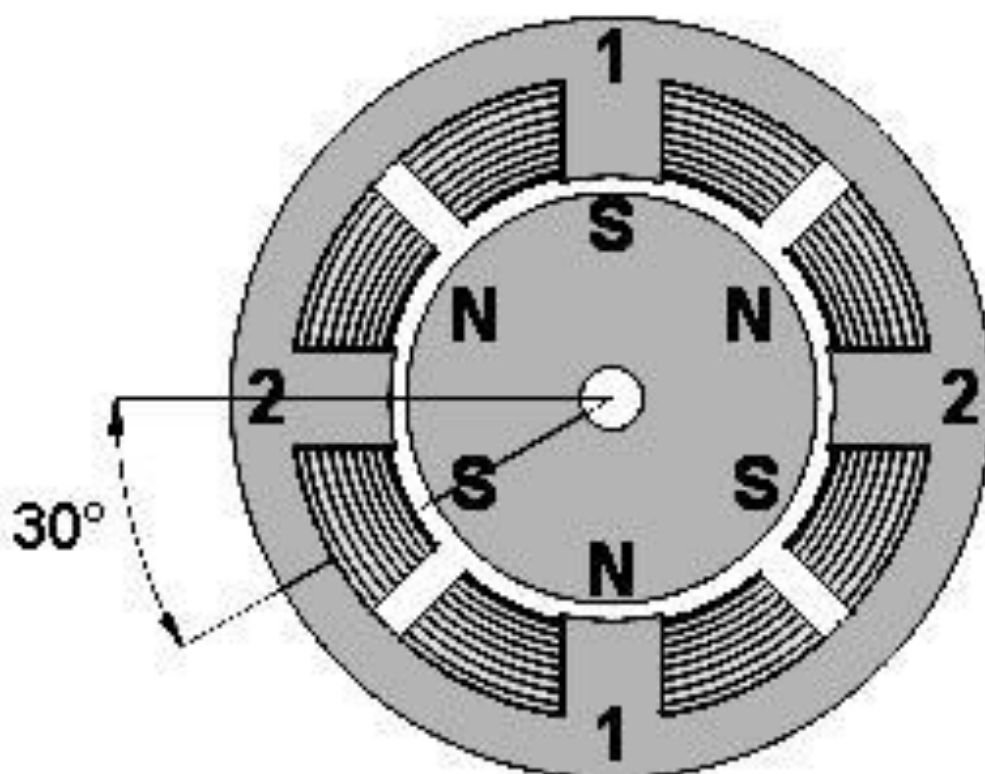


Рисунок . 4 -. Двигатель с постоянными магнитами - сечение

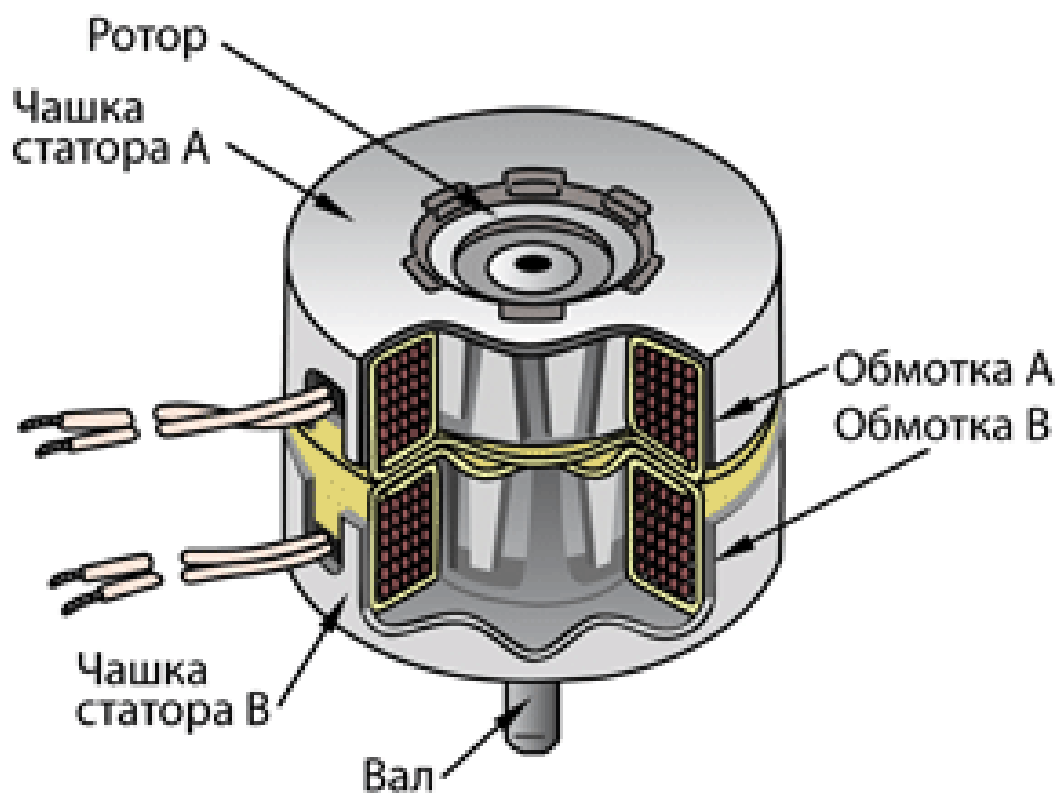


Рисунок 5-. Шаговый двигатель с постоянными магнитами

«Для снижения стоимости устройства двигателя магнитопровод статора имеет форму штампованного стакана. Внутри него размещены полюсные наконечники в виде ламелей. Обмотки фаз расположены на двух разных магнитопроводах, которые размещаются друг на друге. Ротор является цилиндрическим многополюсным постоянным магнитом» [29].

Данный тип шаговых двигателей подвержен влиянию обратной ЭДС со стороны ротора, это явление ограничивает максимальную скорость вращения.

2.1.3.3. Гибридные двигатели

Шаговые двигатели данного типа обладают большим моментом, большей скоростью и меньшей величиной шага, они разработаны как симбиоз двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами.

Ротор гибридного двигателя оснащен зубцами, которые находятся в осевом направлении рисунок 6.

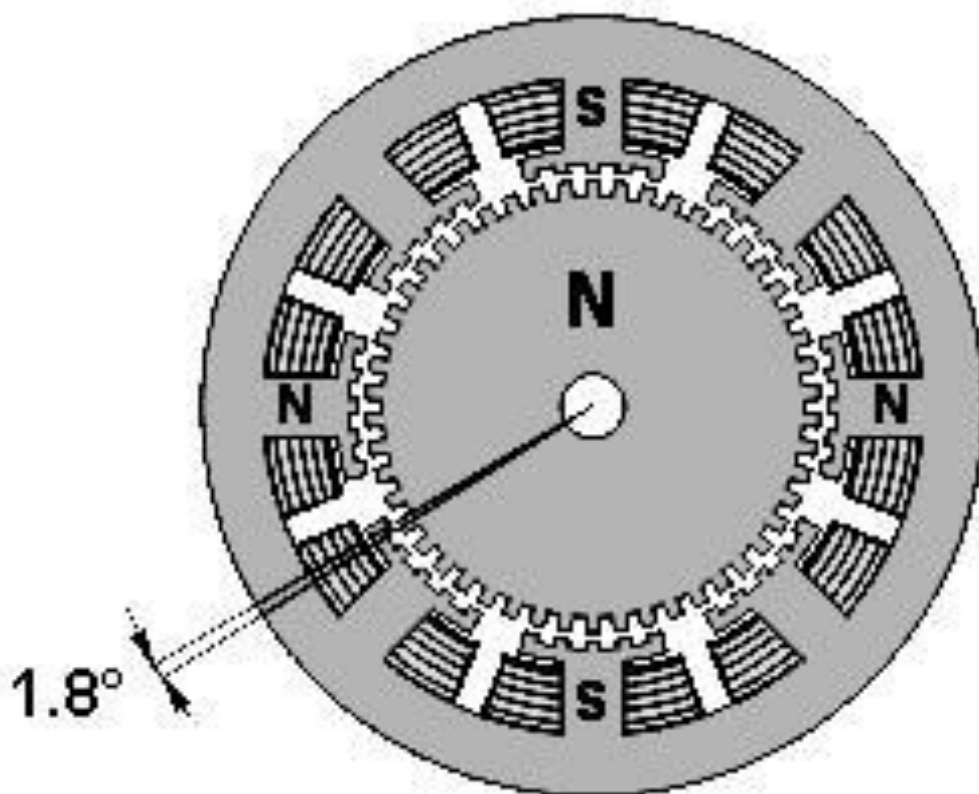


Рисунок. 6 - Гибридный двигатель

У гибридных шаговых двигателей ротор разделен на две части, между которыми размещен цилиндрический постоянный магнит.

Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, это сделано для обеспечения большего количества эквивалентных полюсов.

На рисунке 7 изображено продольное сечение гибридного шагового двигателя.

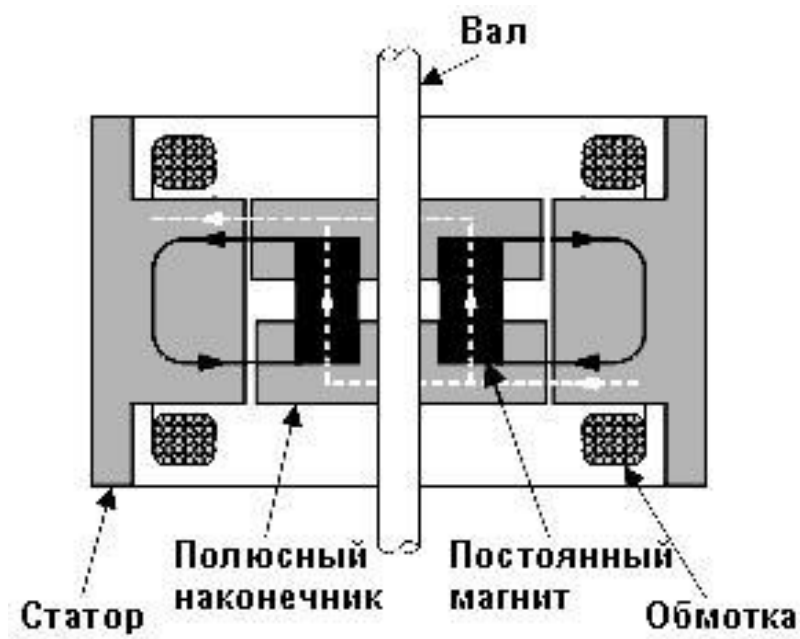
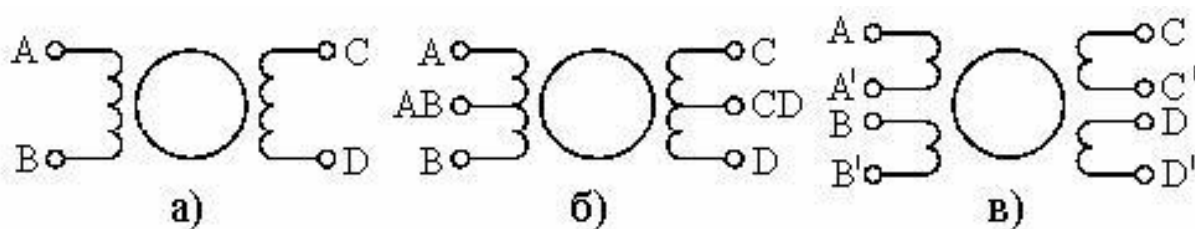


Рисунок.7.- Продольный разрез гибридного шагового двигателя

Фактически гибридный двигатель представляет собой двигатель с постоянными магнитами, но с большим числом полюсов.

2.1.3.4. Биполярные и униполярные шаговые двигатели

Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, которая для изменения направления магнитного поля должна реполюсовывается. Биполярный двигатель имеет две обмотки и, соответственно, четыре вывода рисунок. 8, а



биполярный (а), униполярный (б) и четырехобмоточный (в)

Рисунок 8-. Биполярный двигатель

Униполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, но от середины обмотки сделан отвод. Это позволяет изменять направление магнитного поля, создаваемого обмоткой, простым переключением половинок обмотки. Это упрощается схема управления.

Средние выводы обмоток могут быть объединены внутри двигателя, поэтому такой двигатель может иметь 5 или 6 выводов рисунок 8, б. В униполярном двигателе могут быть отдельные 4 обмотки, по этой причине его ошибочно называют 4-х фазным, в этом случае каждая обмотка имеет отдельные выводы рисунок 8, в.[28,31]

Если сравнить биполярный и униполярный шаговые двигатели то биполярный двигатель обеспечивает больший момент при одних и тех же габаритах.

По результатам анализа данных классификаций шаговых двигателей, для использования в лабораторном стенде выбран шаговый двигатель:

- Поворотного типа (по характеру перемещения ротора)
- Гибридный (по конструктивным особенностям)
- Униполярный (по конструктивным особенностям)

При изменении схемы подключения униполярный двигатель может работать как биполярный, что увеличивает возможности лабораторного стенда для изучения шаговых двигателей.

Выбор произведен исходя из требований, сформированных в результате анализа конструкции имеющегося лабораторного стенда.

- Простота конструкции и высокая степень ремонтпригодности - наглядная демонстрация работы одной оси станка с числовым программным управлением.
- Механическое соединения шагового двигателя и рабочего механизма имитация ШВП (шарико–винтовая передача)
- Программа управления простая, наглядная, в свободном доступе (не требует покупки лицензии)
- Управление стендом осуществляется через персональный компьютер
- Минимальные экономические затраты (минимальная стоимость)
- Широкая распространенность

Для нашего стенда приобретен гибридный униполярный шаговый двигатель PM55L-048 рисунок 9.

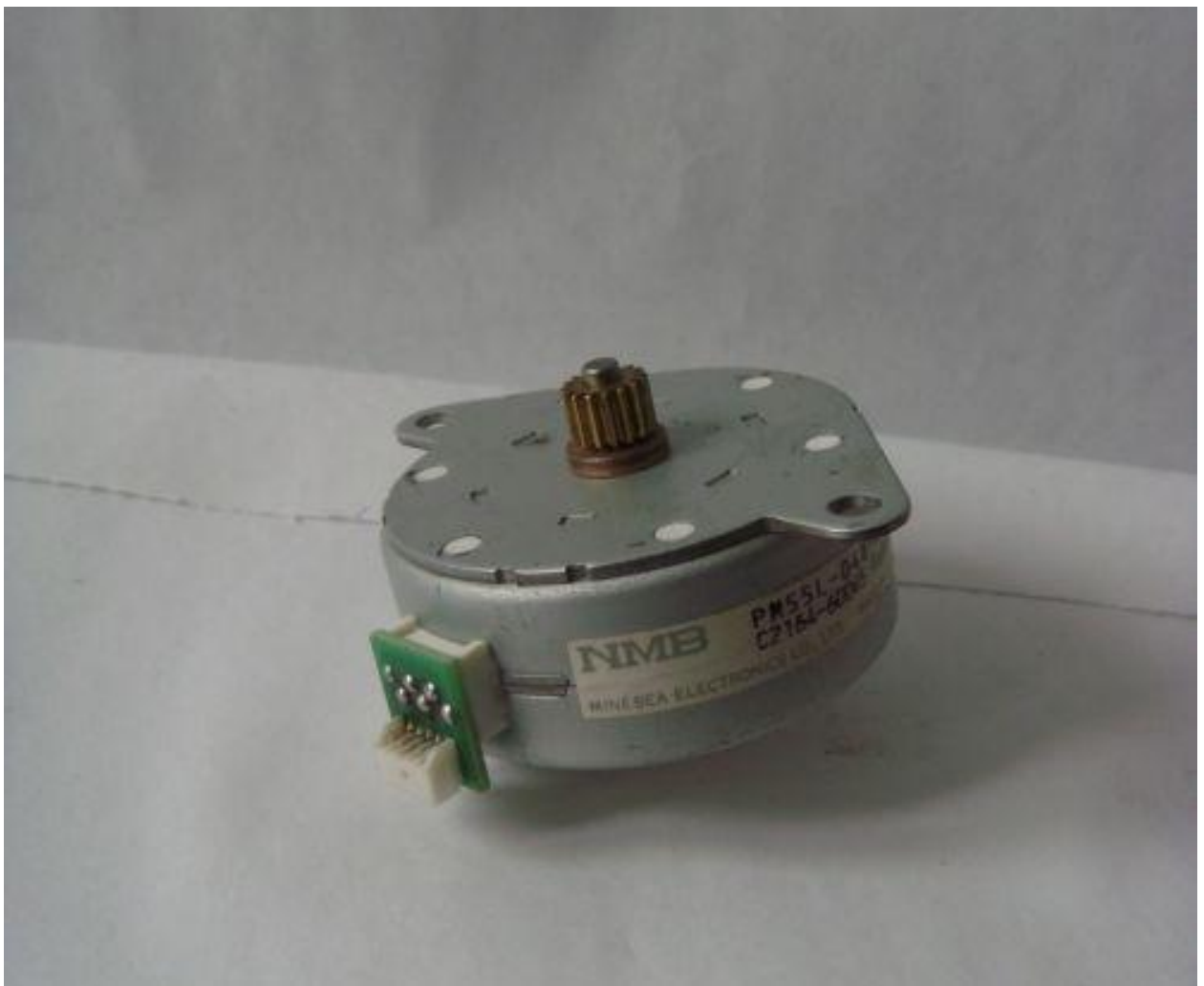


Рисунок 9- Шаговый двигатель PM55L-048

Характеристики шагового двигателя PM55L-048 представлены в таблице 1.

- Крутящий Момент: 44NM
- Тип: Гибридный
- Фаза: 2
- Ток / Фаза: 0.2 А
- Сертификация: RoHS
- Угол Шага (градусы): 7,5
- Артикул: NMB PM55L-048
- Масса: 232 г
- Напряжение питания В: 24

Таблица 1-Характеристики шагового двигателя PM55L-048

Motor Size	PM55L-048	
Number of Steps per Rotation	48(7.5°/Step)	
Drive Method	2-2 PHASE	
Drive Circuit	UNIPOLAR CONST. VOLT.	BIPOLAR CHOPPER
Drive Voltage	24[V]	24[V]
Current/Phase		800[mA]
Coil Resistance/Phase	30[Ω]	5.5[Ω]
Drive IC	2SC3346	UDN2916B-V
Magnet Material	Ferrite plastic magnet (MSPL) Polar anisotropy ferrite sintered magnet (MS50) Nd-Fe-B bonded magnet (MS70)	
Insulation Resistance	100M[Ω] MIN	
Dielectric Strength	AC 500[V] 1[min]	
Class of Insulation	CLASS E	
Operating Temp.	-10[°C] ~ 50[°C]	
Storage Temp.	-30[°C] ~ 80[°C]	
Operating Hum.	20[%] RH ~ 90[%] RH	

Габаритные размеры шагового двигателя PM55L-048 представлены на рисунке 10. Характеристики заявленные производителем данного двигателя представлены на рисунках 11 и 12.

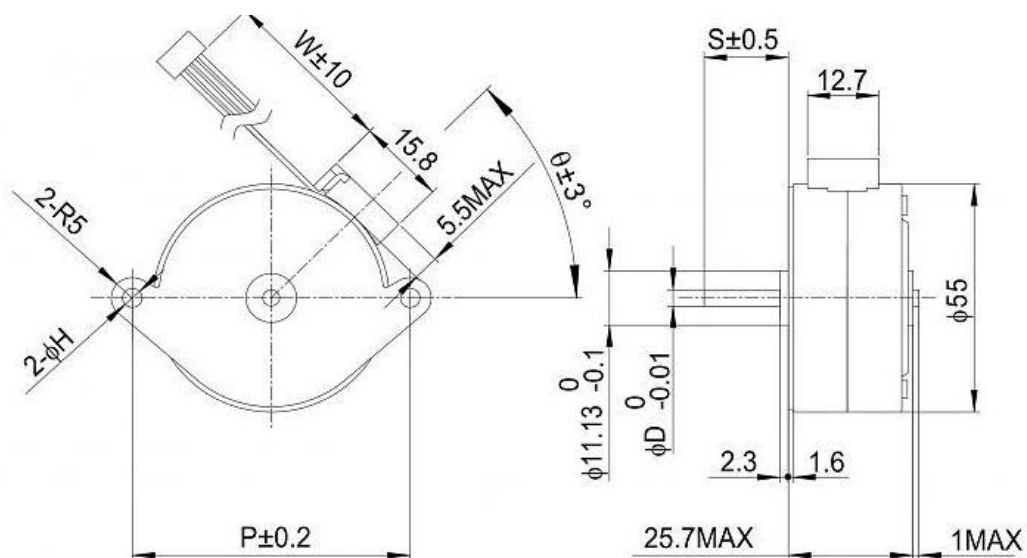


Рисунок 10-Габаритные размеры PM55L-048

PM55L-048 BI-CHOPPER (at 24[V], 5.5[Ω], 800[mA])

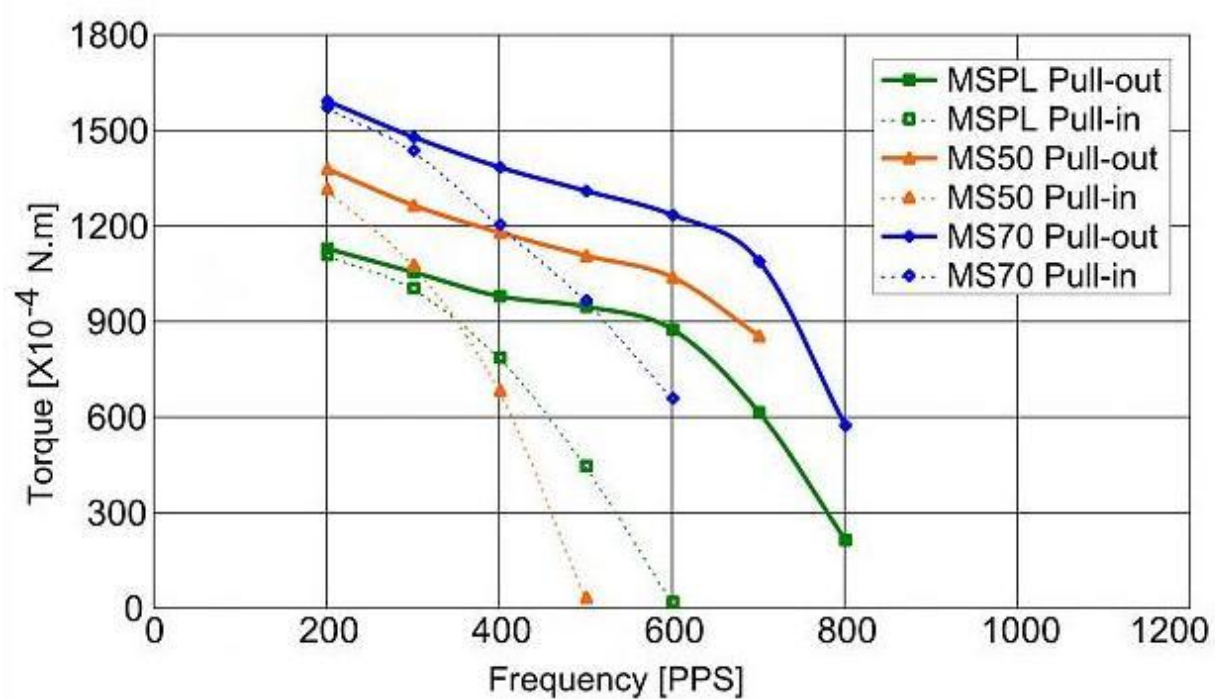


Рисунок 11 Характеристики шагового двигателя PM55L-048

PM55L-048 UNI-CONST. V (at 24[V],30[Ω])

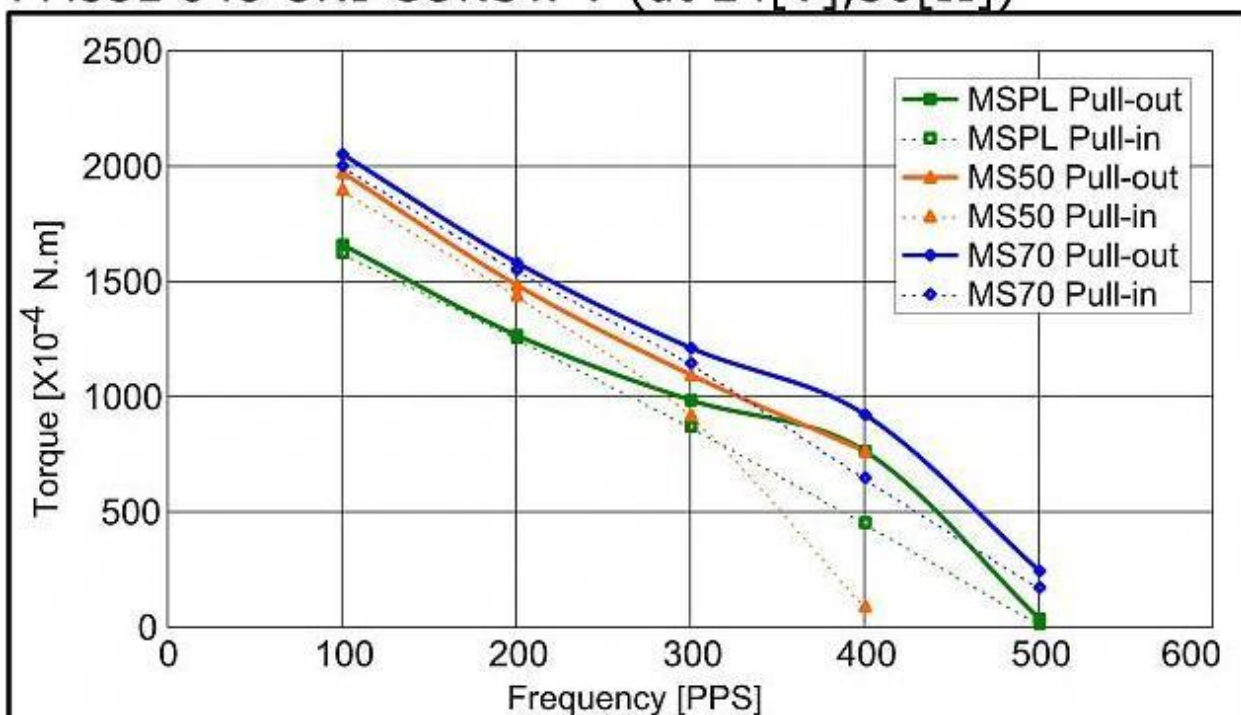


Рисунок 12 Характеристики шагового двигателя PM55L-048

2.2. Математические модели шагового двигателя

В данный момент имеется несколько вариантов математических моделей, шагового двигателя. Каждая из них имеет свои отличительные особенности и рассматривает какой-то конкретный фактор. Основанием всех математических моделей является 2-ой закон Кирхгофа и 2-ой закон Ньютона.

Для представления динамических режимов работы ШД нужно составить уравнения электрического баланса для напряжений (2-ой закон Кирхгофа), уравнение моментов, а также уравнение электромеханического преобразования энергии.[23]

Уравнение равновесия напряжений и ЭДС

$$\begin{aligned} u_1 &= Ri_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + \frac{d}{dt}(\psi_M \sin p\theta) \\ u_2 &= Ri_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + \frac{d}{dt}(\psi_M \sin p(\theta - \lambda)) \end{aligned} \quad (1)$$

u_1, u_2 и I_1, I_2 - соответственно напряжения и токи фаз статора

$$L_1 = L_0 + L \cos 2p\theta; \quad L_2 = L_0 + L \cos 2p(\theta - \lambda); \quad \text{и} \quad M = -M_0 + M \cos 2p\left(\theta - \frac{\lambda}{2}\right) \quad (2)$$

где L_1, L_2 и M – индуктивности и взаимная индуктивность обмоток двух фаз статора; R – активное сопротивление обмотки статора; ψ_M – максимальное значение потокосцепления, создаваемое постоянным магнитом.

Электромагнитный момент, созываемый обмотками фаз статора:

$$M_{\Sigma} = \psi_M i_1 \sin p\theta - \psi_M i_2 \sin p(\theta - \lambda) \quad (3)$$

Уравнение моментов, действующих на ротор

$$\frac{J_{\Sigma}}{p} \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \cdot \omega + M_c = M_{\Sigma} - M_H \quad (4)$$

где $J\Sigma = J_r + J_n$ – суммарный момент инерции, приведенный к валу ротора; d/dt – угловая скорость вращения ротора; D – коэффициент вязкого трения; M_c – момент трения скольжения в подшипниках; M_n – момент сопротивления нагрузки [3].

Эта математическая модель учитывает явление взаимоиндукции и суммарный момент инерции, приведенный к валу ротора.

Следующая модель шагового двигателя.

Наведенная противо -ЭДС в катушке фазы А определяется выражением

$$E_A = \omega p \psi_m \sin(p\theta) \quad (5)$$

Для фазы Б

$$E_B = \omega p \psi_m \sin(p\theta - \lambda) \quad (6)$$

где p – число зубцов ротора, ψ_m – максимальное потокоцепление θ – положение ротора, λ – угол сдвига фаз.

$$E_B = \omega p \psi_m \cos(p\theta) \quad (7)$$

Так как рассматривается двухфазный шаговый двигатель, то

$$\lambda = \frac{\pi}{2} \quad \text{следовательно функцию } \sin \text{ заменяем на } \cos.$$

Учитывая вышеизложенное представляем уравнения электрического баланса в следующем виде:

$$\begin{aligned} L \frac{di_A(t)}{dt} &= V_A(t) - Ri_A(t) + \omega(t) p \psi_m \sin(p\theta) \\ L \frac{di_B(t)}{dt} &= V_B(t) - Ri_B(t) + \omega(t) p \psi_m \cos(p\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

где V_A , V_B – напряжение фаз А и В, соответственно, R – активное сопротивление, i_A , i_B – токи фаз А и В, соответственно.

Уравнения составляющих электромагнитного вращающего момента, имеет следующий вид

$$T_A = i_A p \psi_m \sin(p\theta) \quad (9)$$

$$T_B = i_B p \psi_m \cos(p\theta)$$

Статор и ротор имеют зубцы, поэтому суммарный крутящий момент дополняется зубцовым моментом, T_d , что отражает зубцовый эффект, т.е. увеличение максимального синхронизирующего момента за счет увеличения числа полюсов, при неизменной мощности ШД.

Он определяется следующим выражением

$$T_d = T_{dm} \sin(2p\theta) \quad (10)$$

где T_{dm} – максимальный зубцовый момент.

Мгновенное значение электромагнитного момента шагового двигателя это сумма фазовых крутящих моментов и зубцового момента

$$T_e = -i_A p \psi_m \sin(p\theta) - i_B p \psi_m \cos(p\theta) - T_d \quad (11)$$

Вращение ротора описывается вторым законом Ньютона в дифференциальной форме, в котором учитывается момент сопротивления, инерция ротора, электромагнитный момент и вязкое трение.

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = T_e(t) - T_L - B\omega(t) \quad (12)$$

Подставляя, получаем следующее выражение

$$J \frac{d\omega}{dt} = -i_A p \psi_m \sin(p\theta) - i_B p \psi_m \cos(p\theta) - T_{dm} \sin(2p\theta) - T_L B\omega \quad (13)$$

В данной математической модели учитывается зубцовая составляющая момента [5].

Рассмотрим двухфазный шаговый двигатель. Упрощенная схема двигателя с одной парой полюсов приведена на рисунке 13.

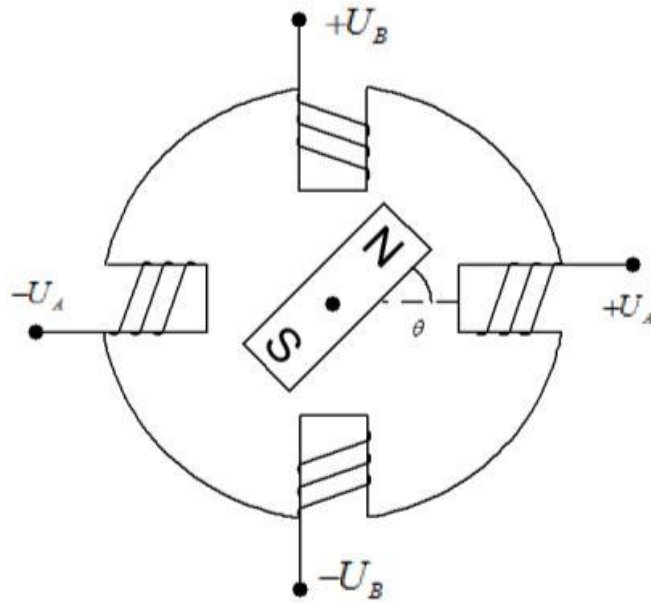


Рисунок 13– Схема двухфазного шагового двигателя упрощенная.

Совместная работа магнитного поля статора и тока статора наводит электромагнитный момент на роторе шагового двигателя. Подавая последовательность напряжений на каждую фазу, ротор сделает один шаг (для рисунок. 13 шаг равен 90°). В итоге величина шага будет равняться

$$\theta_s = \frac{90}{N_r}, \text{ deg} \quad (14)$$

где N_r - число зубцов ротора

В результате моделирования работы шаговых двигателей модель состояния можно привести модель двухфазного шагового двигателя

$$\left. \begin{aligned} L \frac{di_a(t)}{dt} &= u_a(t) - Ri_a(t) + K_m \omega(t) \sin(N_r \theta(t)) \\ L \frac{di_b(t)}{dt} &= u_b(t) - Ri_b(t) + K_m \omega(t) \cos(N_r \theta(t)) \\ J \frac{d\omega(t)}{dt} &= -K_m \omega(t) \sin(N_r \theta(t)) + K_m \omega(t) \cos(N_r \theta(t)) - B\omega(t) - C \operatorname{sgn}(\omega(t)) \\ \frac{d\theta(t)}{dt} &= \omega(t) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где i_a, i_b – фазные токи; ω – угловая скорость; θ – положение ротора; u_a, u_b – фазные напряжения; R – активное сопротивление; L – индуктивное сопротивление; K_m – коэффициент момента; J – инерция; B – коэффициент вязкого трения; C – коэффициент кулоновского трения.

Математическая модель ШД – нелинейная. Для упрощения введем следующие допущения:

- Эффектом насыщения при больших токах пренебрегают
- Пренебрегаем фиксирующим моментом.

Модель учитывает изменение индуктивности, являющейся источником реактивного момента. Кроме того, в математической модели учитывается вязкое и кулоновское трение.[2,8]

Несмотря на это, введя выше указанные допущения, математическая модель все равно остается нелинейной. Так как постоянная K_m , связанная с двигателем, является функцией $\sin(Nr\theta)$ и $\sin(Nr\theta)$. Однако, можно полагать, что переменные состояния измеримы настолько, что модель линейна

2.3. Управление шаговым двигателем

Основная идея управления шаговым двигателем – обеспечение вращения ротора на заданный угол. Под шагом принято называть минимально возможное угловое перемещение ротора ШД, обеспечиваемое его конструкцией в режиме полного шага. При подаче одного управляющего сигнала ротор шагового двигателя делает один шаг, то есть поворачивается на угол который заложен в него конструкцией. Как правило, логическая схема изготавливается на транзисторных элементах, и если выходной сигнал низкий, то соответствующая фаза обмотки отключается, а в случае, если он высокий – возбуждается.

Существует несколько основополагающих способов управления шаговым двигателем:

- Режим полного шага
- Дробление шага, которое охватывает полушаговый и микрошаговый режим управления.
- Векторное управление.

2.3.1 Режим полного шага

Существует два понятия режима полного шага. Изначально под режимом полного шага подразумевали раздельное управления ШД, то есть ток подавался на фазы ШД в разные моменты времени. В настоящее время под это режимом полного шага управление понимают, такое управление при котором ток подается сразу на две обмотки ШД. Преимуществом современного понимания режима полного шага, является большее значение электромагнитного момента. В данный момент полностью отказались от представления режима полного шага, как режим раздельного управления.

Суть этого режима в подаче напряжения на одну из фаз статора реакцией шагового двигателя является поворот ротора на определенный угол который зависит от конструкции двигателя. рисунок 14. Меняя подключение фаз статора, получаем вращение ротора в нужном направлении и с нужной

частотой. Частота вращения ограничивается конструктивными особенностями шагового двигателя и возможностями применяемой системой управления. [1,6]

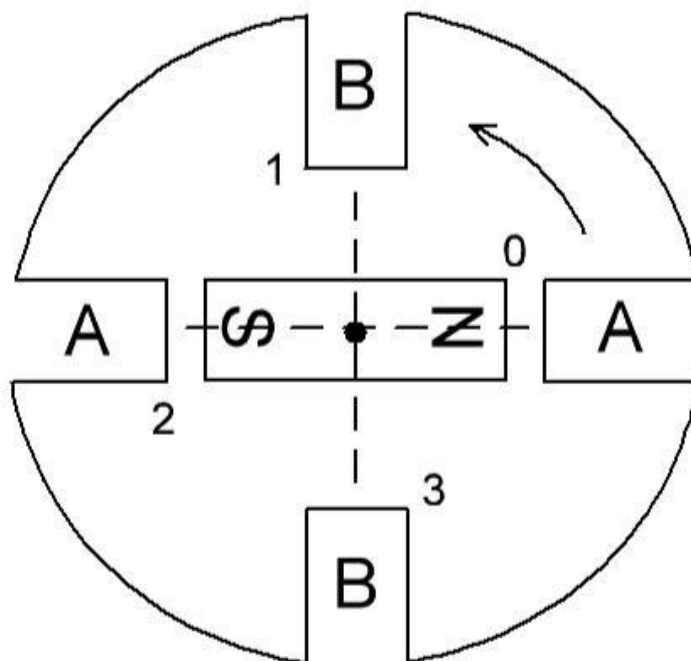


Рисунок 14 – Полношаговый режим управления ШД

Средний крутящий момент на валу двигателя можно рассчитать по формуле (16)

$$\overline{T_{em}} = 0.9C_T I \quad (16)$$

2.3.2. Дробление шага

Это способ управления шаговым двигателем направленный на уменьшение минимального угла поворота ротора двигателя.

Выделяют полушаговый и микрошаговый режимы управления

При полушаговом режиме напряжение подается на две фазы двигателя. При этом ротор проворачивается на половину того угла на

который он должен повернуться при полношаговом режиме управления двигателем, то есть на половину шага рисунок 15.

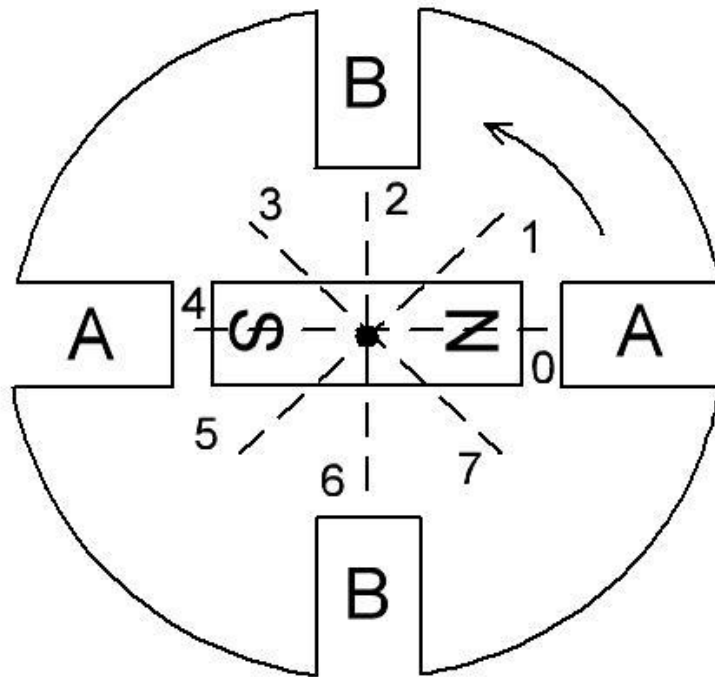


Рисунок. 15 - Полушаговый режим управления ШД

В полушаговом режиме средний крутящий момент больше, чем при полношаговом режиме управления, и его можно рассчитать по формуле (17)

$$\overline{T_{em}} = 1.17 C_T I \quad (17)$$

При микрошаговом режиме происходит еще большее дробление шага. Напряжение подается тоже на две обмотки сразу, только теперь обмотки запитаны током разным по значению и изменяются по закону $\sin$ и $\cos$. Смысл микрошагового режима лежит в подаче на обмотки ШД сигнала, по своей форме напоминающего синусоиду. Обычно такой режим используется в системах позиционирования в станках ЧПУ.[9,21,26]

Средний крутящий момент можно описать следующей формулой (18)

$$\overline{T_{em}} = 0.99 C_T I \quad (18)$$

При микрошаговом режиме управления крутящий момент выше, чем при использовании полношагового рисунок.16.

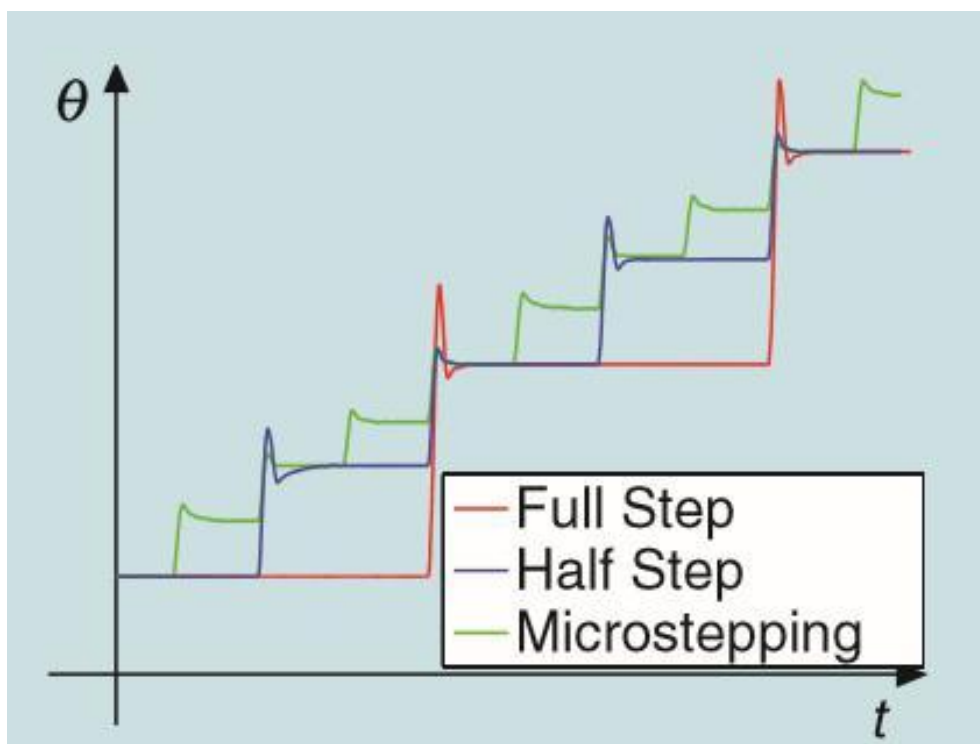


Рисунок 16– График сравнение полношагового (Full step) полушагового (Half step) и микрошагового (Microstepping) режима управления»

Плюсы данного режима в уменьшении рывков при вращении ротора, уменьшении шага, исключении резонанса и бесшумности работы, В то же время имеют место быть и недостатки, главными из которых являются уменьшение момента и усложнение алгоритма управления [7]

2.3.3 Векторное управление

Шаговый привод, наряду с достоинствами, имеет недостатки, которые значительно ограничивают область применения ШД, а именно:

- Вибрация
- Резонанс
- Низкая динамика
- Наличие стопорящего момента

-Высокая температура и низкий КПД

-Низкая точность позиционирования

Вибрация присуща шаговому и полушаговому режимам управления.

При работе шагового двигателя в реальных условиях под нагрузкой без датчика положения, система управления не знает реальное текущее положение ротора, что может привести к отклонению фактического положения от заданного вследствие пропуска шагов. В системах без обратной связи для предотвращения пропуска шагов используется плавный разгон и торможение с существенным запасом. Это ограничивает потенциальные динамические возможности привода.[20,24]

Обмотки двигателя находятся всегда под напряжением, даже при отсутствии нагрузки в следствии чего большое потребление электроэнергии низкий КПД и высокая рабочая температура.

Для разрешения противоречия, сложившегося при использовании ШД, а так же новым требованиям, предъявляемым к точности выполняемого движения получил распространение новый способ управления называемый векторным управлением.

Пропуск шагов решается внедрением в привод датчика положения. Принцип векторного управления заключается в поддержании постоянного вектора потокосцепления ротора ψ_R . Для этого необходимо подавать напряжение на обе фазы А и В. Токи фаз создают результирующий ток статора i_s рисунок 17. Расчет текущего угла и управление токами должно выполняться с высокой частотой, для этого используется процессор.[22]

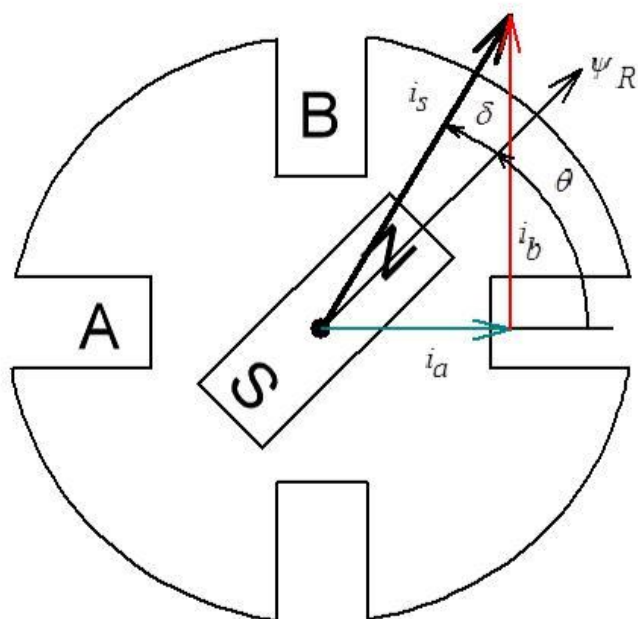


Рисунок 17 – Векторная диаграмма шагового двигателя

Электромагнитный момент можно рассчитать по формуле (19),

$$T_{motor} = C_T i_s \sin(\delta), \quad (19)$$

где момент пропорционален току статора; δ – угол между вектором тока статора и вектором потокоцепления ротора.

Реализация векторного управления представлена на рисунке 18 [18].

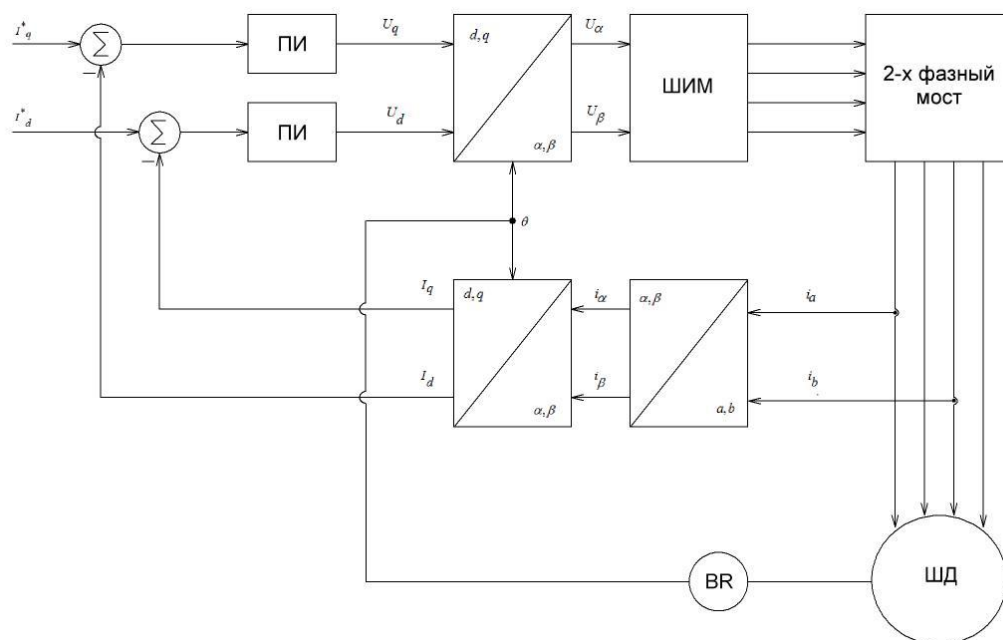


Рисунок 18 – Структурная схема векторного управления ШД

Использование замкнутого контура рисунок 19 при векторном управлении:

- Исключается колебание момента
- Устраняет вибрации;
- Обеспечивает высокие динамические показатели;
- Исключает пропуск шагов.
- Увеличивает КПД

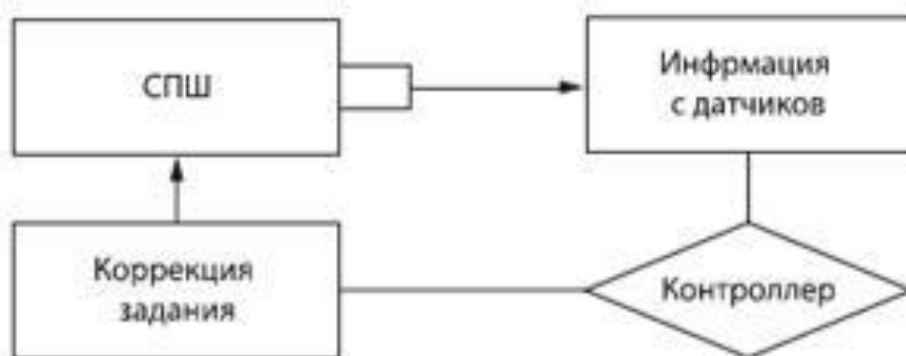


Рисунок 19 – Замкнутый контур управления ШД

Современные процессоры позволяют реализовать дополнительные функций:

- «Электронный редуктор»
- «ПЛК»- программируемый логический контроллер
- Линейную и круговую интерполяцию – функция числового программного управления
- Функция отслеживания состояния конечных выключателей
- Отслеживание температуры (двигателя, рабочей среды и т.д.)
- Защита от короткого замыкания
- Защита от скачков напряжения питания

Использование векторной системы управления делает возможным применение шаговых двигателей в современных системах числового программного управления, обеспечивая низкую себестоимости

Проведя анализ способов управления шаговым двигателем выбираем способ управления - дробление шага, которое охватывает режим полного шага полушаговый режим.[25]

Векторное управление значительно усложняет схему управления, стоимость и сложность станда. Внедрить векторное управление для лабораторного станда может быть задачей выпускной квалификационной работы обучающихся студентов в будущем.

2.3.4. Требования к системе управления шаговым двигателем лабораторного станда

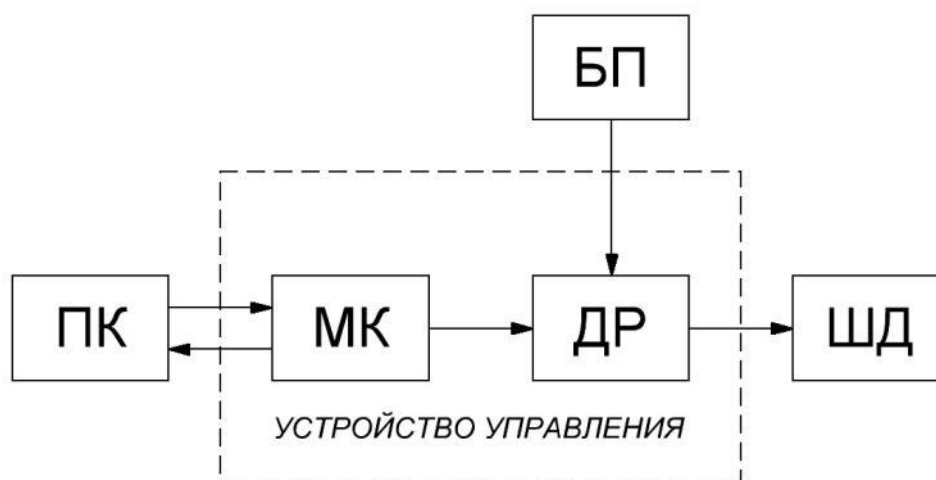
Сформируем требования к устройству управления лабораторным стандом

- Состоит из минимального количества элементов.
- Высокая степень ремонтпригодности
- Низкая себестоимость
- Отсутствие программируемого микроконтроллера
- Интерфейс расположен на ПК

- Интерфейс простой и функциональный
- Программа управления в свободном распространении (не требует покупки лицензии)
- Обеспечивает режимы работы необходимые для исследования работы шагового двигателя и принципов работы ЧПУ

Система должна работает следующим образом: все режимы заданные оператором рассчитываются в компьютере (полный шаг, 1/2, направление, значение коррекции на реверс скорость, разгон торможение.), данные поступают в контроллер, в контроллере сигналы проходят через микросхемы жесткой логики и подаются на драйвер. Плата драйвера шагового двигателя формирует сигналы , который подается на обмотки статора шагового двигателя.[27]

Ниже представлена необходимая нам структурная схема электрического привода с шаговым двигателем рисунок 20.



ПК – персональный компьютер, МК – микроконтроллер, ДР – микросхема драйвера шагового двигателя, БП – блок питания шагового двигателя, ШД – шаговый двигатель

Рисунок 20 – Структурная схема системы управления шаговым двигателем

2.3.5.Выбор платы управления шаговым двигателям

На рынке и в интернете представлено большое количество блоков управления шаговыми двигателями.

- Полностью автономные
- Схемы для самостоятельной сборки с готовым набором элементов и платой ,
- Схемы для самостоятельного изготовления

Полностью автономные это программируемые через USB или RS-232 блоки управления. предназначены для управления различными по исполнению шаговыми двигателями различных мощностей. Эти блоки управления поддерживает полношаговый режим работы или осуществляет дробление на 1/2, 1/4, 1/16 шага

Есть также непрограммируемые блоки управления. Все управление шаговым двигателем осуществляется с самого блока кнопками управления, «шаг», «направление», «разрешение».

Стоимость таких блоков на рынке составляет от 5200 руб.

Схемы для самостоятельной сборки содержат в себе микро контролер и силовые ключи и систему обвязки. В зависимости от мощности и функциональности их стоимость начинается от 1000руб.

Схемы для самостоятельного изготовления очень широко представлены в сети интернет и по сложности схемотехнического решения. Суммарная стоимость элементов для их сборки начинается от 120 руб.

Сравнение цены различных вариантов представлена в таблице1

Таблица 2.- Сравнение стоимости блоков управления ШД

Название блока.	Стоимость руб.
SMD-80M-02	6720
Came 002ZL170N	2500
TB6560, 3A, 12-24V	825
DRV8825	315

MACH3	750
TB6600-4LPT, 12-40B, 5A	5860
UIM24104, 10-35B, 4A, RS232	8814

Таким образом, в результате анализа существующих решений для управления шаговым двигателем, рассмотренные блоки управления шаговыми двигателями не подходят нам по критерию цены, простоты в эксплуатации и уровню ремонтпригодности. Необходимо составить критерии выбора платы управления, выбрать схему платы управления и изготовить ее.

2.3.6 Обзор программ применяемых для работы с платами управления шаговыми двигателями.

В результате поиска во всемирной сети программ управления, были выбраны для анализа следующие :

- TurboCNC
- Mach
- kCam
- VRI-cnc

Основные критерии предъявляемые к программам, такие:

- Бесплатное распространение (не требует покупки лицензии)
- Простой интерфейс (подготовка к лабораторной работе не должна занимать много времени)
- Позволяет работать с выбранным двигателем (гибридный , униполярный)
- Позволяет обеспечить выбранные режимы работы(шаг, дробление шага)

Составим матрицу принятия решения таблица 3.

Таблица 3- Матрицу принятия решения

программа	Стоимость Лицензии	Простота интерфейса	Может работать с гибридным униполярным ШД	Обеспечивает режим шаг и дробление шага	Сумма балов
TurboCNC	3	6	3	3	162
Mach	3	6	3	3	162
kCam	1	3	3	3	27
VRI-cnc	9	6	3	3	486

По результатам анализа выбрана бесплатная программа VRI-cnc.

2.3.7 Описание контроллера VRI-cnc

В результате анализа существующих схем управления был выбран для изготовления и применения на лабораторном стенде контроллера VRI-cnc совместно с управляющей программой VRI-cnc

Простейшая схема контроллера для управления для управления шаговыми двигателями на трех микросхемах SN74LS75N. Автор Ветров Р.

Электрическая часть делится на три составляющих рисунок 21:

- Блок питания
- Контроллер
- Драйвер

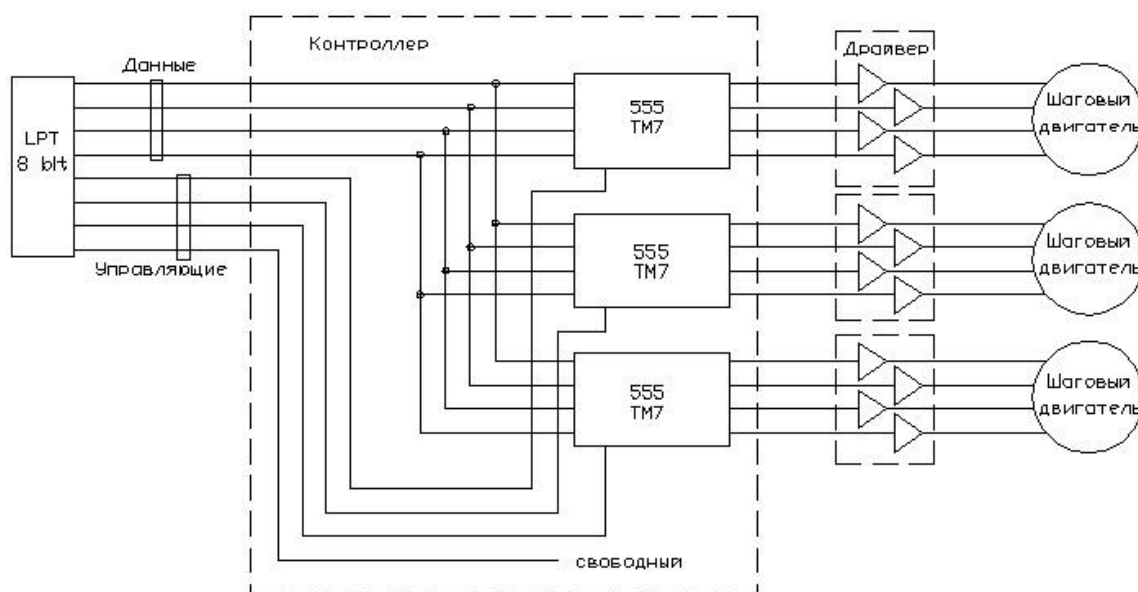


Рисунок 21-Схема блока управления

Блок питания: 24в 5А – для питания шаговых двигателей лабораторного стенда и схемы контроллера .

Контролер VRI-спс:

Контроллер работает последовательно с каждым двигателем. Одновременная работа все двигателей обеспечивается быстрым переключением управления. Контроллер управления выполнен на микросхемах жесткой логики SN74LS75N рисунок 22.

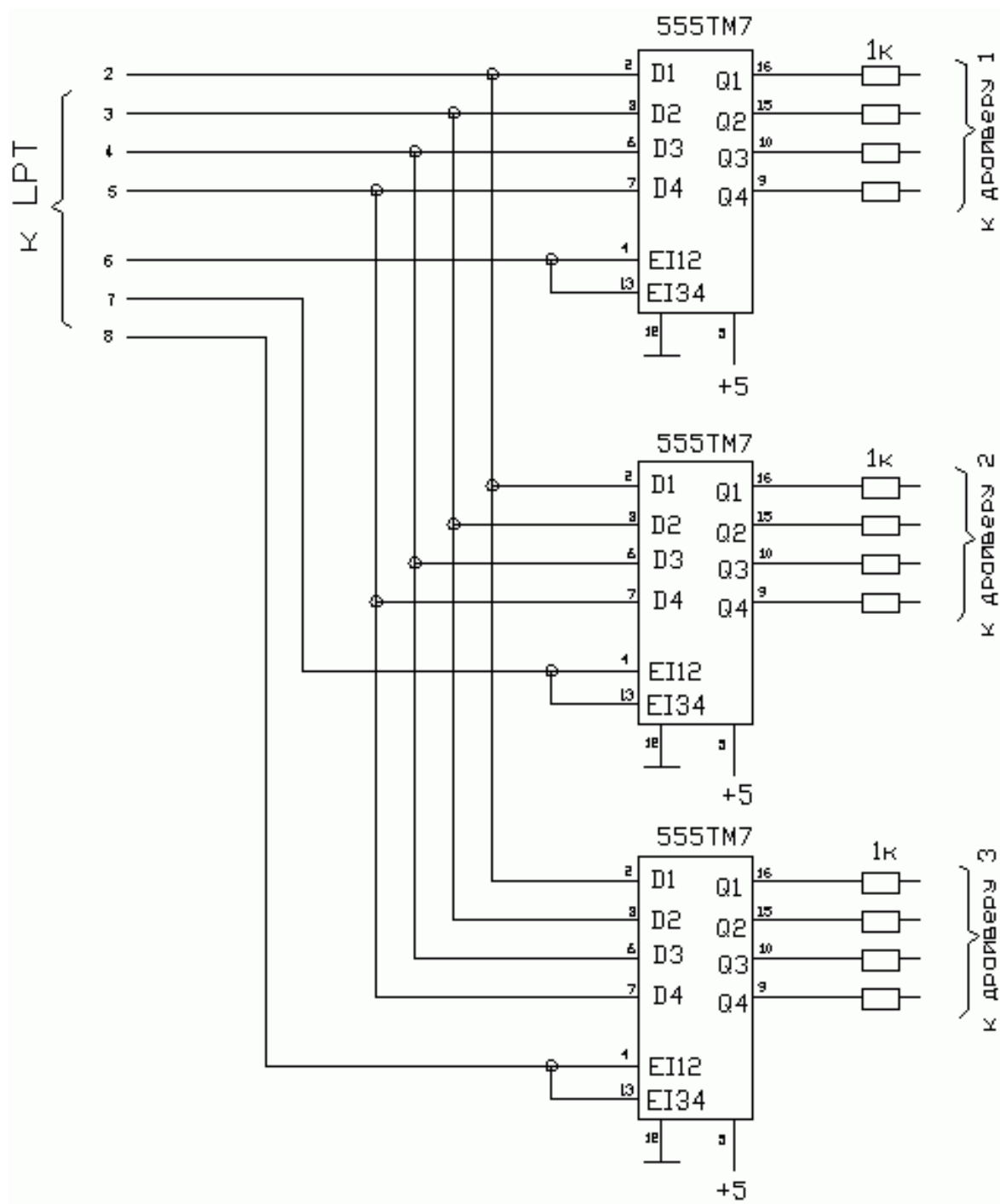


Рисунок 22 - Электрическая схема контролера

LPT –порт назначение выводов представлены в таблице 4.

Таблица 4- Назначение выводов LPT –порта

вывод	Название	Направление	Описание
1	STROBE	ввод и вывод	устанавливается РС после завершения каждой передачи
2..9	DO-D7	вывод	вывод
10	ACK	ввод	устанавливается в "0" внешним устройством после
11	BUSY	ввод	устройство показывает, что оно занято, путем установки
12	Paper out	ввод	для принтеров
13	Select	ввод	устройство показывает, что оно готово, путем установки
14	Autofeed		
15	Error	ввод	индицирует об ошибке
16	Initialize	Ввод и вывод	
17	Select In	Ввод и вывод	
18..25	Ground	GND	общий провод

Восемь бит идущих от LPT порта разделяются на две группы по 4бита
таблица5: данные и управляющие. При получении сигнала одним из трех триггеров, данные записываются в триггер микросхемы SN74LS75N и поступают на драйвер шагового двигателя. При снятии с микросхемы SN74LS75N разрешающего сигнала данные в триггере сохраняются.

Таблица 5-Разделение битов

Биты LPT							
0	1	2	3	4	5	6	7
данные				Управляющий сигнал —определяет на какой двигатель придет сигнал			

Для подачи на второй двигатель сигнала 0101 необходимо подать разрешающий сигнал на второй SN74LS75N т.е. выдать в порт LPTсигнал
таблица 6.

Таблица 6

Биты LPT							
0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	0	1	0	1	0	0
Передаваемые данные на шаговый двигатель. Данные идут на 2 двигатель							

Драйвер:

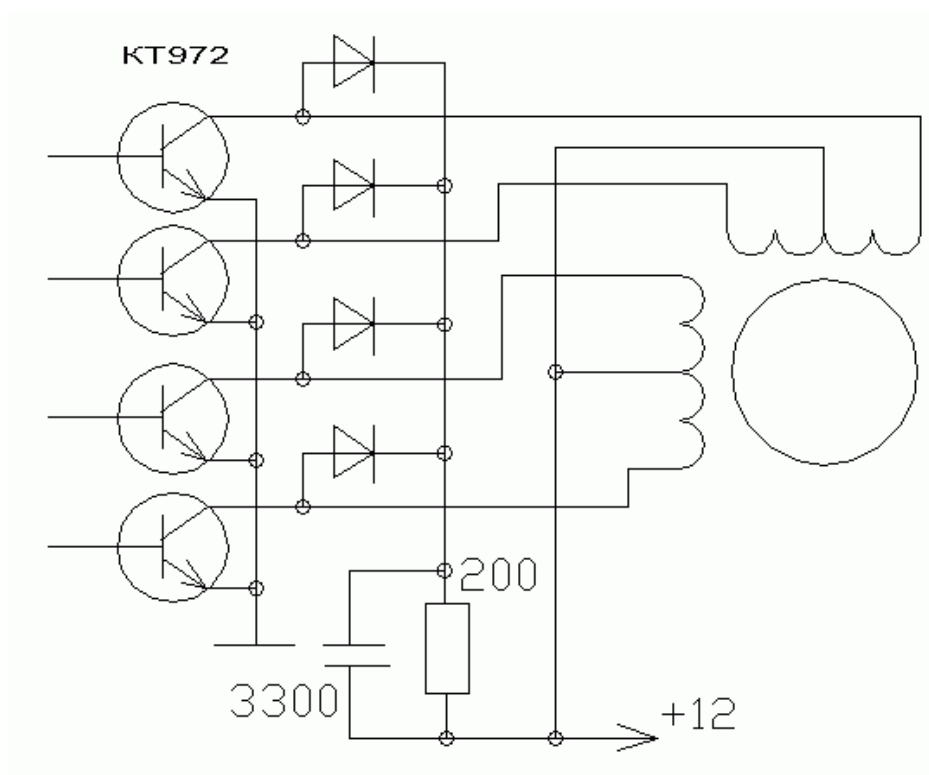


Рисунок 23 Схема драйвера.

Драйвер для шагового двигателя собран по схеме рисунок 23, печатная плата для драйвера представлена на рисунке 24.

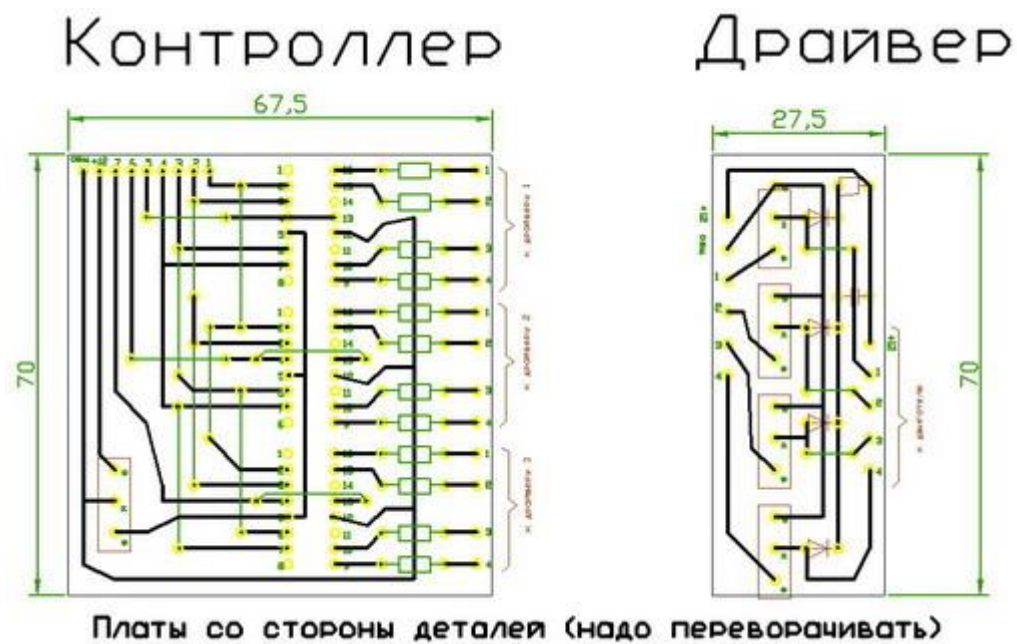


Рисунок 24 Печатная плата контроллера VRI-сnc

Изготовленная плата контроллера VRI-сnc представлена на рисунке 25

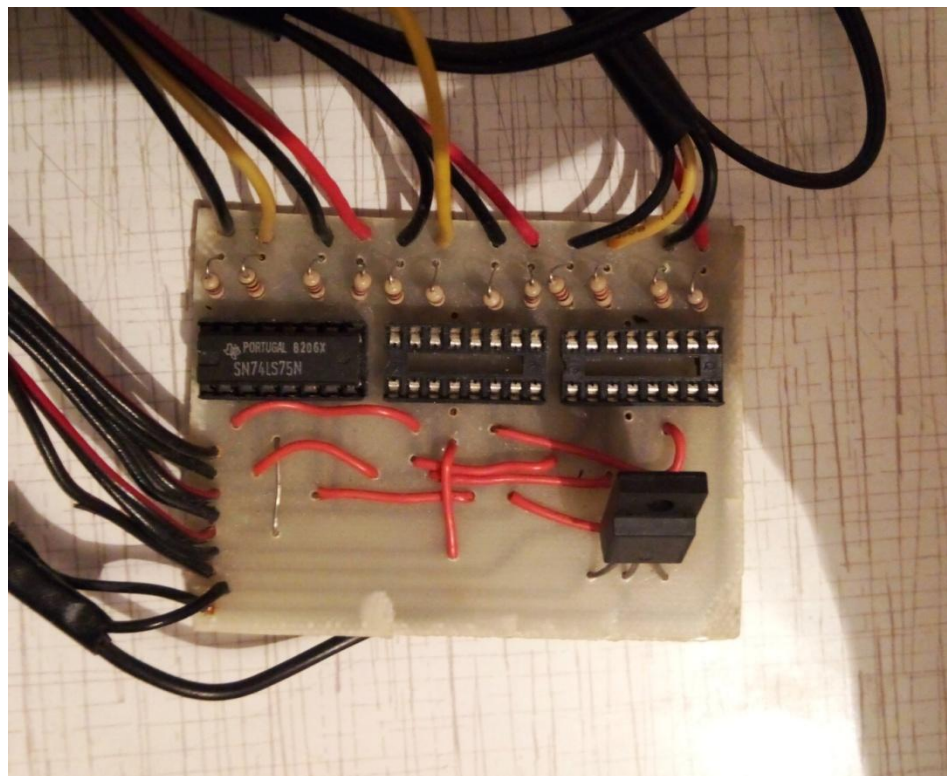


Рисунок 25- Изготовленная плата контроллера VRI-сnc

Изготовленный драйвер VRI-сnc представлен на рисунке 26.

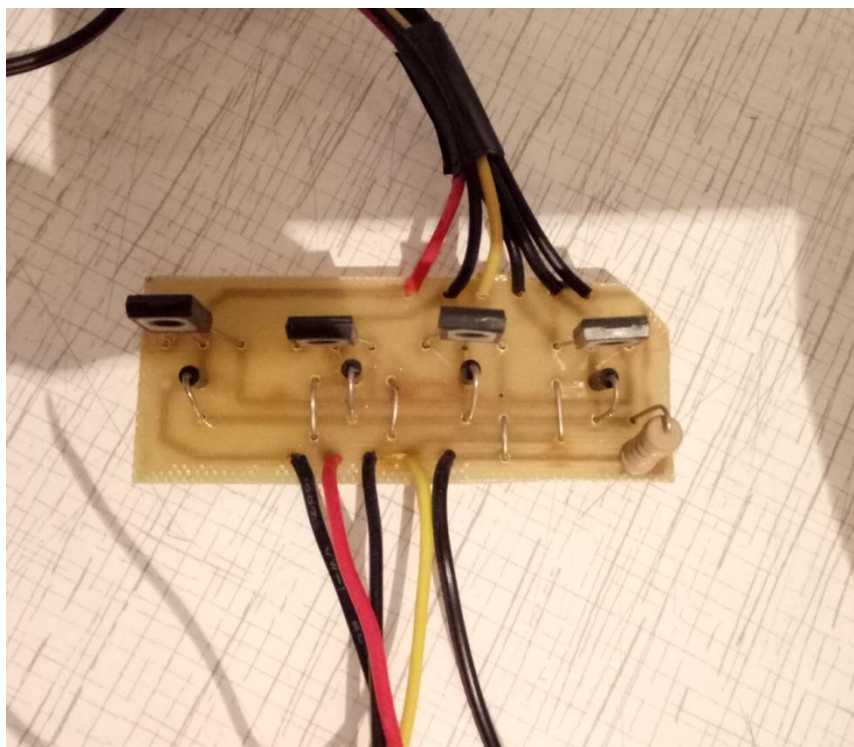


Рисунок 26 изготовленная плата драйвера

Разъем для подключения к параллельному порту компьютера представлен на рисунке 27.

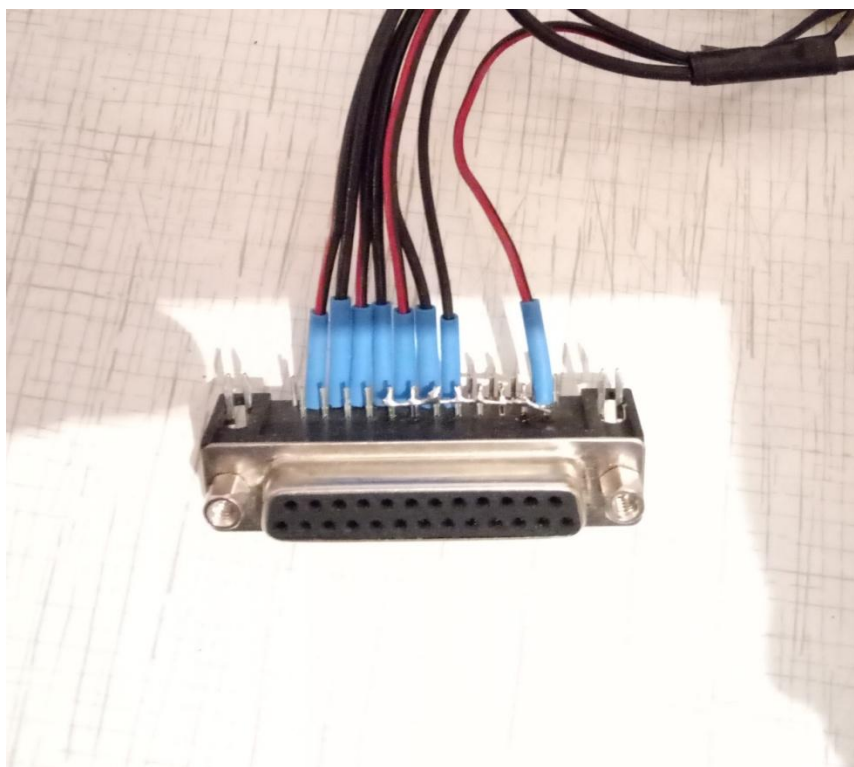


Рисунок 27 разъем подключения контроллера к LPTпорту

2.3.8. Описание программы для управления лабораторным стандом с ЧПУ на контроллере VRI-cnc

Принцип работы: Создается в среде AutoCad чертеж только линиями (lines).

Окно программы имеет четыре вкладки (рисунок 18):

- ручное
- программе
- настройка
- ?.

Ручное управление.

В данной вкладке можно управлять лабораторным стандом в ручном режиме.

Описание элементов вкладки «Ручное» рисунок 28:

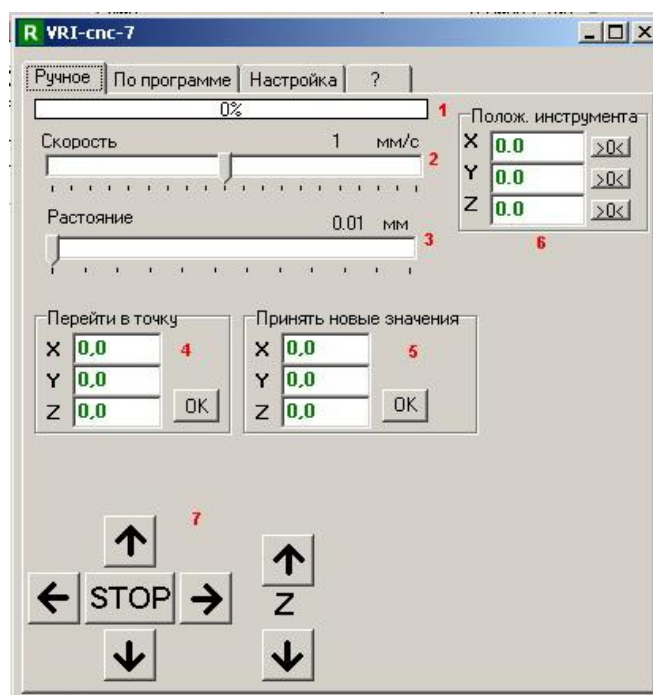


Рисунок 28- Вкладка управляющей программы «РУЧНОЕ»

1) Отображает процесс выполнения перемещения рабочего органа по одной из осей

2) Настройка скорости перемещения в ручном режиме

3) Расстояние на которое переместится рабочий орган при нажатии одной из кнопок перемещения (стрелки 7)

4) При введении координат в окно 4, и нажатии ОК рабочий орган начнет перемещение в указанную точку со скоростью указанную в п.2

5) Введены в этом окне координаты присваиваются положению инструмента, без перемещения инструмента. Например: мы знаем что сейчас инструмент находится в точке 100:100:0, но после включения программы по умолчанию координаты инструмента обнулены (окно 6), поэтому в окно 5 вводим 100:100:0 и нажимаем ОК.

6) Отображает реальное значение положения инструмента.

7) Кнопки ручного перемещения инструмента. Со скоростью п.2 на расстояние п.3. Управление по программе – автоматический режим. В данном режиме обработка (перемещение инструмента) ведется в автоматическом режиме по координатам записанным в соответствующем файле обработки.

Рассмотрим окно программы: «по программе» рисунок 29

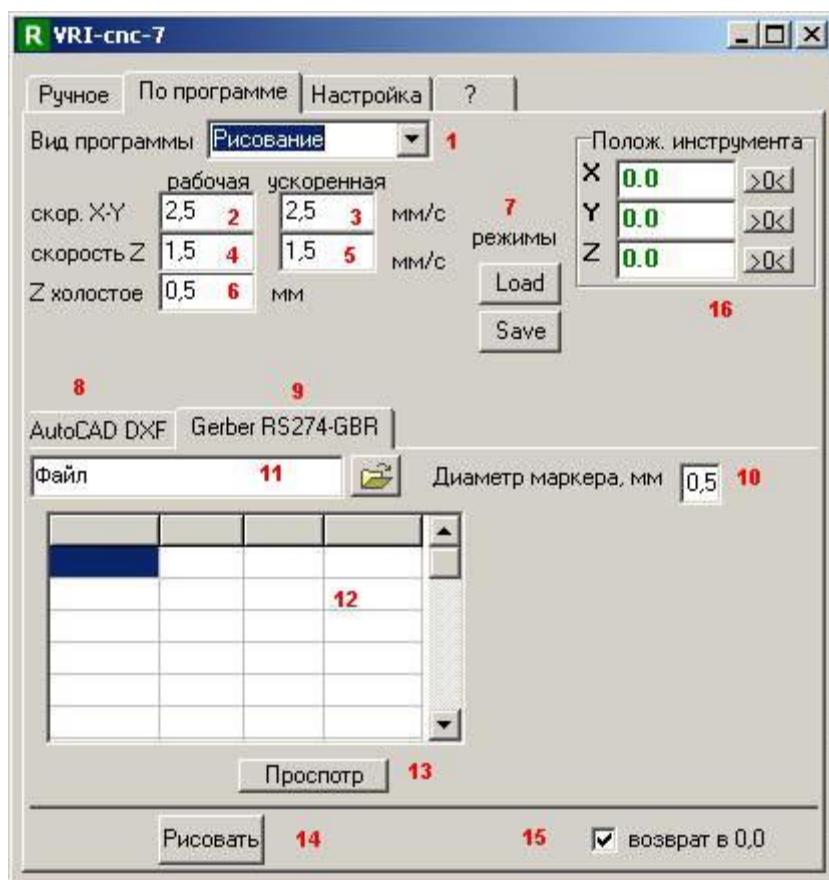


Рисунок 29 - Окно «По программе Gerber»

- 1) вид обработки. Возможные варианты обработки: рисование, сверление, фрезеровка и гравировка.
- 2) Скорость перемещения по осям Y и X рабочая (когда инструмент опущен)
- 3) Скорость перемещения по осям Y и X ускоренная (когда инструмент поднят)
- 4) Скорость перемещения по оси Z рабочая (опускание инструмента - сверление)
- 5) Скорость перемещения по оси Z ускоренная (быстрый подвод инструмента к детали и подъем инструмента)
- 6) Значение Z при котором инструмент гарантированно проходит над деталью

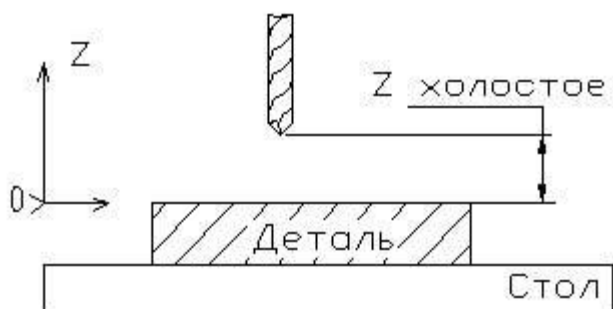


Рисунок 30- Z холостое

За ноль по Z принимаю поверхность рисунка (платы). Т.е. при $Z=0$ маркер будет касаться рисунка. При сверлении за $Z=0$ – это поверхность детали. В начале работы, после установки детали или платы, я в ручном режиме подвожу инструмент (маркер) до касания с деталью, затем обнуляю Z . И поднимаю инструмент на 1 мм.

7) Режимы работы можно сохранять, и по необходимости считывать. Это удобно когда ведется обработка различных материалов и при различной обработке.

8) Работа по файлам AutoCAD см.п.17

9) Работа с файлами Gerber и Exelon.

10) Диаметр маркера, необходим для расчета при рисовании пятчков на платах.

11) Диалог открытия файла

12) Список применяемых апертур в файле. Справочная информация. Которую можно использовать для смены маркера при рисовании дорожек разной толщины.

13) Предварительный просмотр файла.

14) Запускает процесс рисования

15) При установке этой галки и завершении обработки инструмент будет возвращается в ноль.

16) Окно реальных координат инструмента (положение инструмента)

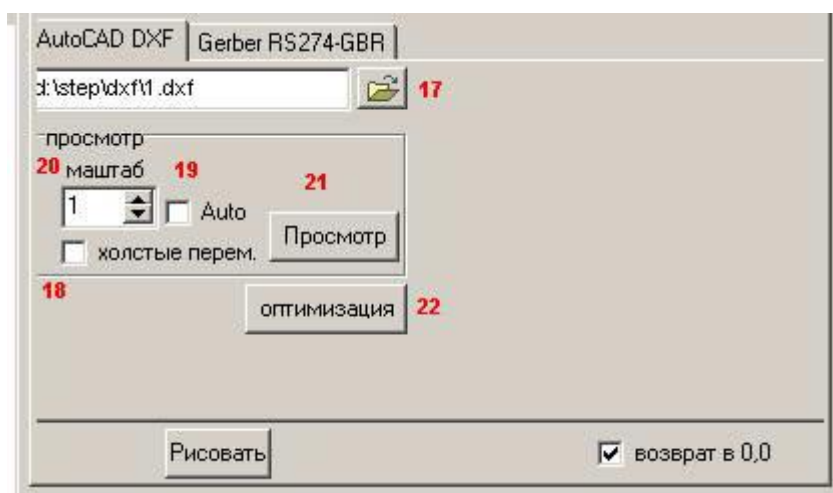


Рис.31- Окно «По программе AutoCad»

17) Открывает файл DXF

18) Вкл/выкл показа холстых перемещений

19) Вкл/выкл автоматического увеличения (вписывает рисунок в окно просмотра)

- 20) Задание масштаба при отключенном п.19
- 21) Просмотр файла
- 22) Оптимизация файла: создается новый файл в котором минимум холостых перемещений.

Настройки.

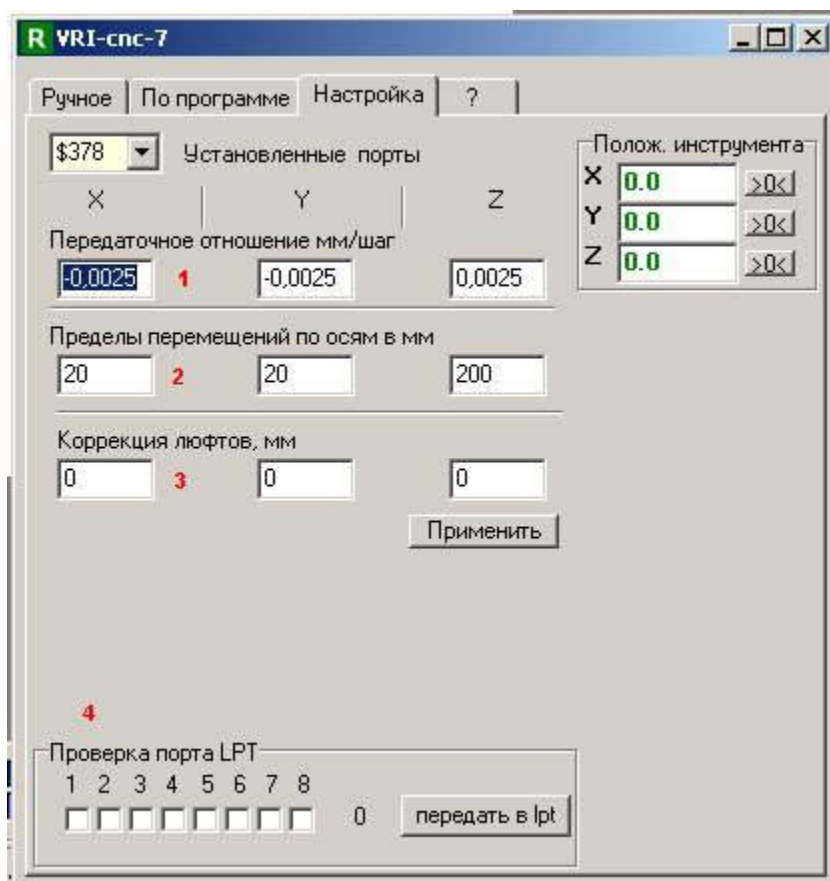


Рисунок.32- Окно «Настройки»

1) Настраивается передаточное отношение по трем осям. Пример расчета: Дано двигатель 400 об/шаг, винт шаг 1мм. Передаточное отношение = $1\text{мм}/400\text{шагов} = 0,0025\text{ мм/шаг}$. Передаточное отношение может быть отрицательным если надо инвертировать перемещение по оси.

2) Габариты стола. При их превышении обработка останавливается.

3) Коррекция люфтов. В любой передаче есть люфты. Измерить можно так:

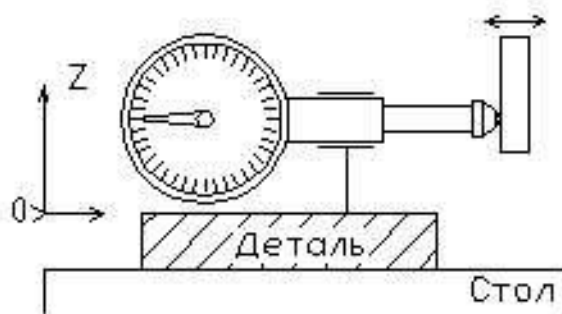


Рисунок.33-Измерение люфтов

На столе закрепляем индикатор ИГ-0.01, вместо инструмента закрепляем какой либо предмет и перемещает его с помощью ручной подачи в сторону индикатора. Затем в обратную сторону по 0.01мм, до тех пор пока не выберется люфт (стрелка не пойдет в другую сторону), сумма перемещений по 0.01мм пока стрелка не подвижна и будет люфт по этой оси. Поверяется так: люфт был 0.2мм. вводим его в настройки. Затем в ручном перемещении при сдвиге на 0.01 стрелка должна сдвигаться даже при смене направления перемещения.

Проверка LPT: используется для проверки работы контроллера и программы.

Если подключенный двигатель к контроллеру не вращается при ручном перемещении поступаем так:

- включаем поочередно 1-8 бит и нажимает «передать в LPT» и проверяем приходят ли данные сигналы (+5в) на контроллер, на соответствующий вход тм7

- чтобы проверить работу тм7 необходимо передать следующие сигналы в LPT:

ТМ7

№11000 1000 – на выходе тм7 (№1) на 16 выводе должно появиться +5в.

0100 1000 – на выходе тм7 (№1) на 15 выводе должно появиться +5в.

0010 1000 – на выходе тм7 (№1) на 10 выводе должно появиться +5в.

0001 1000 – на выходе тм7 (№1) на 9 выводе должно появиться +5в.

1111 1000 – на выходе тм7 (№1) на 16,15,10, 9 выводе должно появиться +5в.

ТМ7 №2

1001 0100

0100 0100 и т.д

Подготовка станка.

При первом запуске станка проверить скоростные характеристики шаговых двигателей.

Открываем вкладку «Ручное перемещение» рисунок 34

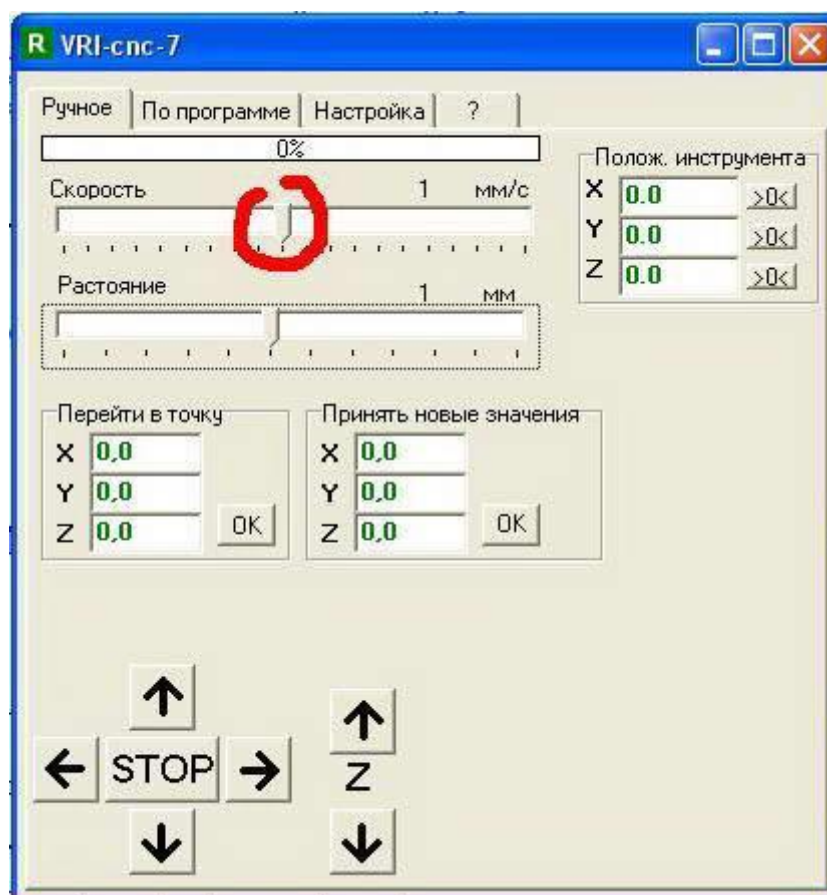


Рисунок 34- Проверка скорости шаговых двигателей.

Выставляем движок скорости в среднее положение и кнопками [стрелки] крутим шаговые двигатели. Если ротор шагового двигателя уверенно вращается, увеличиваем скорость. До тех пор пока при нажать

[стрелки] шаговый двигатель не будет вращаться а будет просто трещать. Уменьшаем эту скорость на 10% это и будет максимальная скорость шагового двигателя. При работе скорость еще уменьшить на 10%, что гарантирует стабильную работу шагового двигателя под нагрузкой.

3. Программа курса лабораторных работ

3.1. Компановка лабораторного стенда

Схема лабораторной установки, используемая в лабораторных работах, проиллюстрирована ниже на (рисунок 26)

Шаговые двигатели имеют давнее и широкое применение в самых различных устройствах, как в бытовых приборах, так и промышленном оборудовании. Главными достоинствами ШД являются:

- возможность использования двигателя без обратной связи;
- высокая точность;
- возможность работы на низких скоростях вращения;
- обеспечение полного момента на валу в статическом режиме;
- высокая надежность;

Недостатки ШД

- явление резонанса
- при работе без обратной связи пропуск шагов влияет на точность перемещения
- не экономичность даже без нагрузки не будет падения потребления энергии
- при высоких скоростях работа шагового двигателя усложнена
- невысокая удельная мощность
- схема управления относительно сложная

Для наглядности и более глубокого изучения достоинств и недостатков, а также, функционирования и настройки привода, где в качестве источника вращающего момента используются шаговый двигатель, разработан лабораторного стенда. Схема разработанного стенда представлена на рисунке 35.

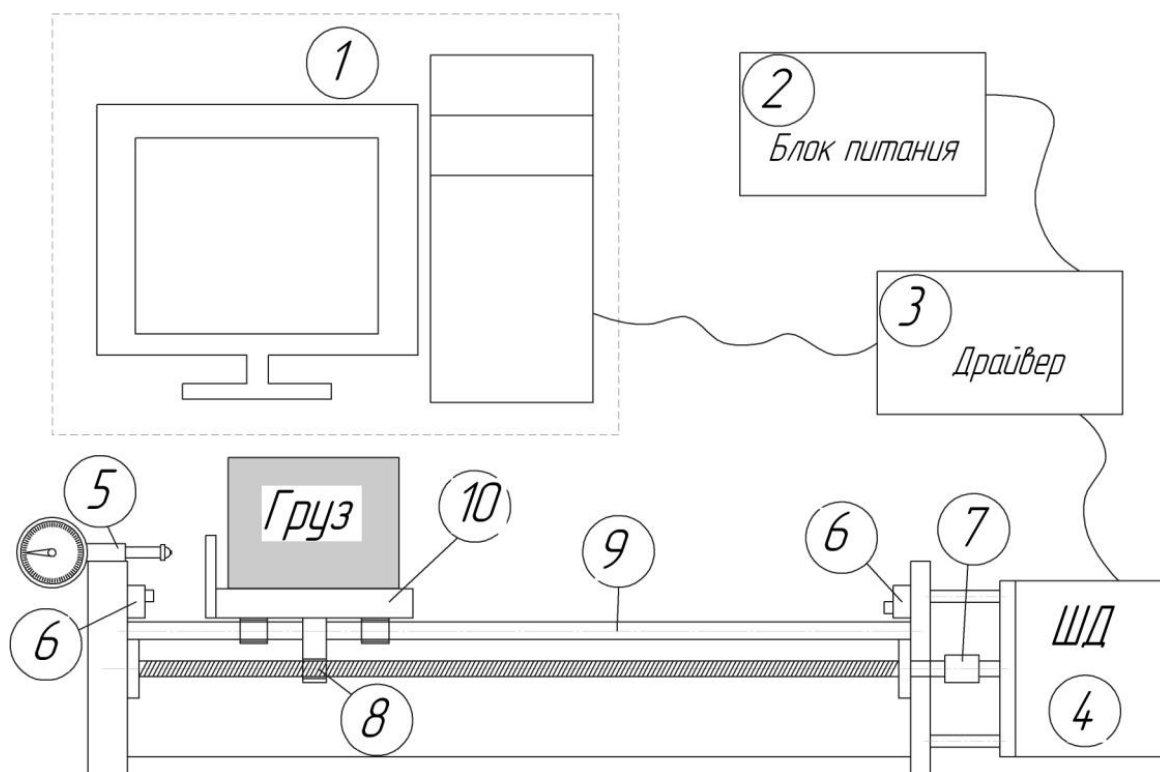


Рис 35.-Схема станда

Лабораторный стенд имитирует одну ось с ШВП обрабатывающего центра.

Лабораторный стенд состоит из:

1. Персональный компьютер с программным обеспечением.
2. Блок питания 220/24В.
3. Блок драйвера.
4. Шаговый двигатель.
5. Индикаторный микрометр.
6. Концевые выключатели.
7. Соединительная эластичная муфта.
8. Винтовая пара.
9. Направляющие.
10. Каретка.

Управление стендом производится персональным компьютером, через LPT порт. В качестве программного обеспечения используется программный пакет «VRI-CNC» который находится на сайте разработчика [19]. Данное

программное обеспечение позволяет менять режим работы шагового двигателя, выбирать скорость подачи и направление. Функционала программы достаточно для выполнения комплекса разработанных лабораторных работ. Блок драйверов для управления шаговым двигателем выполнен по схеме представленной на рисунке 2 [19].

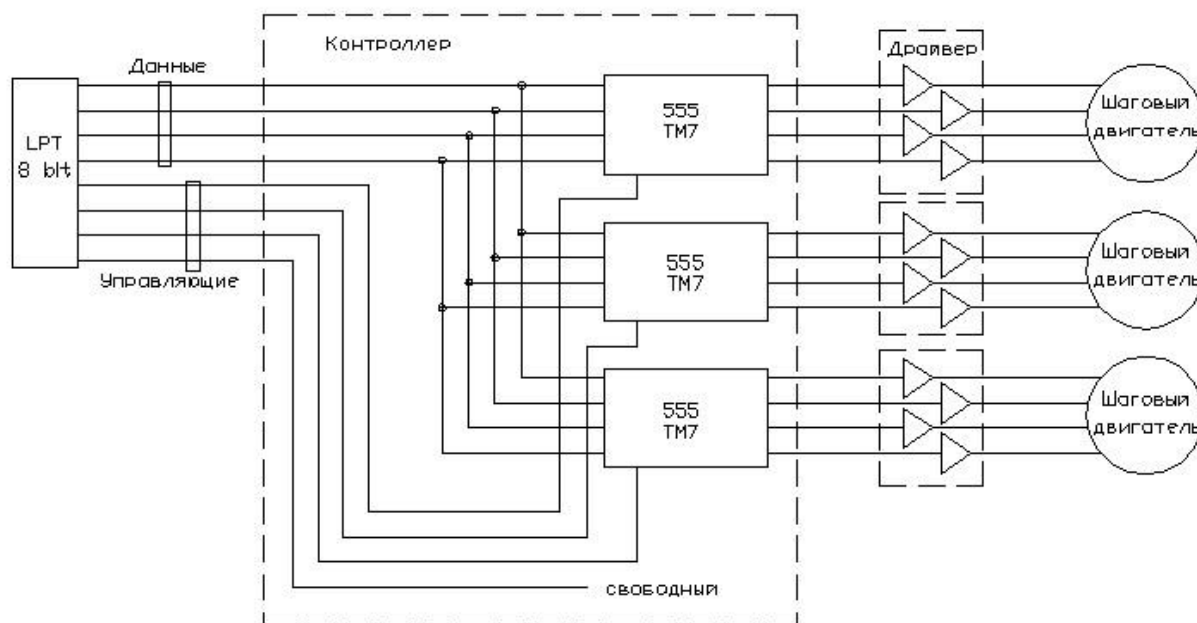


Рисунок 36- Схема драйвера управления шаговым двигателем

Блок питания рисунок 37, предназначен для подачи стабилизированного питания напряжением 24 В на драйвер управления шаговым двигателем.

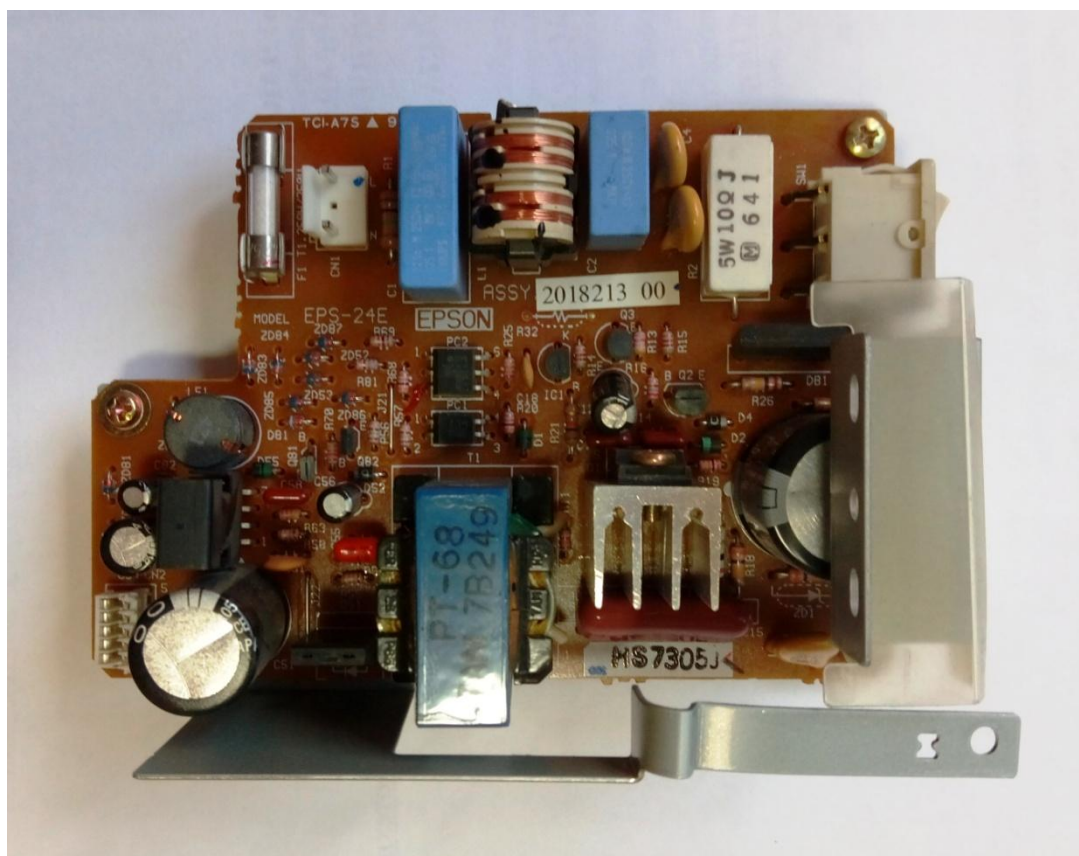


Рисунок 37- Блок питания лабораторного стенда

Шаговый двигатель, применяемый на стенде – гибридный униполярный PM55L-048. рисунок 38



Рисунок 38-Шаговый двигатель PM55L-048

. Микрометром рисунок 39, в ходе лабораторных работ, измеряется величина шага, полушага, пропуск шагов, размер компенсации люфта при реверсе.



Рисунок 39- Микрометр

Концевые выключатели, установленные на стенде, служат для предотвращения врезания каретки.

Эластичная муфта необходима для соединения вала винтовой пары с шаговым двигателем, гашения рывков при старте, стопе, реверсе.

Винтовая пара изготовлена из строительной шпильки М6 и медной гайки М6.

Направляющие и подшипники скольжения, установленные на нижней части каретки, обеспечивают ее плавное перемещение. рисунок 40
Максимальная нагрузка на каретку 2 кг.

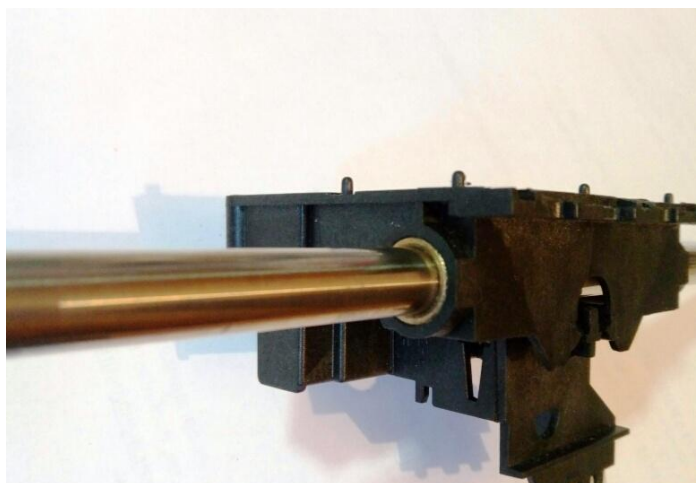


Рисунок 40- Подшипники скольжения

Для данного стенда разработан комплекс лабораторных работ в ходе выполнения, которых, на практике разбираются такие понятия как: максимальный статический момент, явление пропуска шагов, режим полного шага, режим половинного шага, явление резонанса, компенсация люфта при реверсе, разгон и торможение ШД.

3.2 Лабораторная работа №1 «Ознакомление с лабораторным стендом и принципами работы шагового двигателя»

Данная работа направлена на ознакомление с теорией устройства, работы шагового двигателя и лабораторной установки.

Программа работы.

1. Изучить разновидности и принципы работы шаговых двигателей.
- 2 изучит варианты управления шаговыми двигателями
- 3 изучить схему лабораторной установки
- 4 рассчитать величину шага шагового двигателя
- 5 Рассчитать передаточное число механической части стенда
- 4 на практики замерить размер шага и полушага с помощью микрометра.

3.3 Лабораторная работа №2 «Шаговый двигатель эффект резонанса»

Программа работы

- 1.Изучить теорию эффекта резонанса
- 2.Расчитать резонансную частоту
- 3.На практике найти частоту резонанса шагового двигателя без нагрузки
- 4.Изучить изменение резонансной частоты с изменением нагрузки

3.4 Лабораторная работа №3 «Знакомство с принципами работы ЧПУ»

Цель работы изучить основы работы ЧПУ на базе лабораторного стенда

Программа работы

1. Рассчитать передаточное число механической части стенда.
- 2.изучить максимальный статический момент,
- 3.изучить явление пропуска шагов
- 4.изучить компенсация люфта при реверсе,
- 5.изучить режимы разгон и торможение ШД.

3.5 Лабораторная работа №4 «Математическое моделирование шагового двигателя в среде Matlab Simulink»

Для закрепления знаний по теме работа и управление шаговым двигателем выполним виртуальную лабораторную работу «Исследования шагового двигателя» [13], с целью выполнение исследований статических и динамических характеристик шагового двигателя, и их анализ.

Работы осуществляются в среде математического моделирования MatLab-Simulink. Используется блок Stepper motors, рисунок 40.

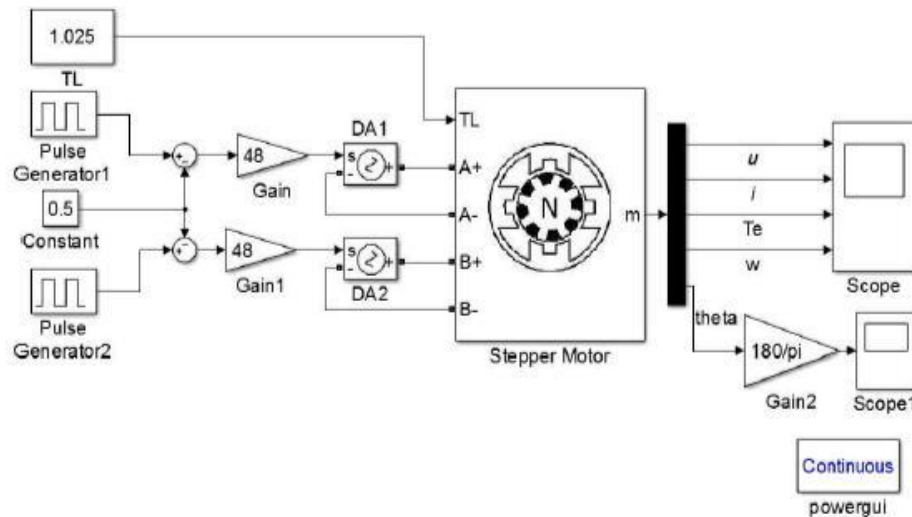
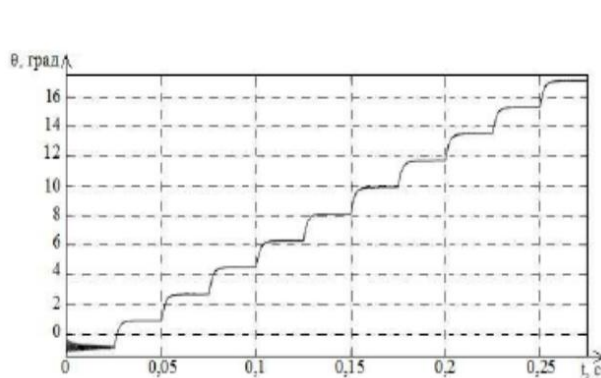


Рисунок 40 – Simulink – модель ЭМТП с шаговым двигателем

С помощью среды математического моделирования MatLab-Simulink, возможно получить зависимость углового шага от времени, механическую характеристику ШД и графики переходных процессов $M(t)$ и $\omega(t)$ рисунок 41, а также зависимости угловой частоты от времени $\theta(t)$ рисунок 42 [13].



1)



2)

Рисунок 41 – 1) – Зависимость углового шага от времени,
2) – механическая характеристика ШД

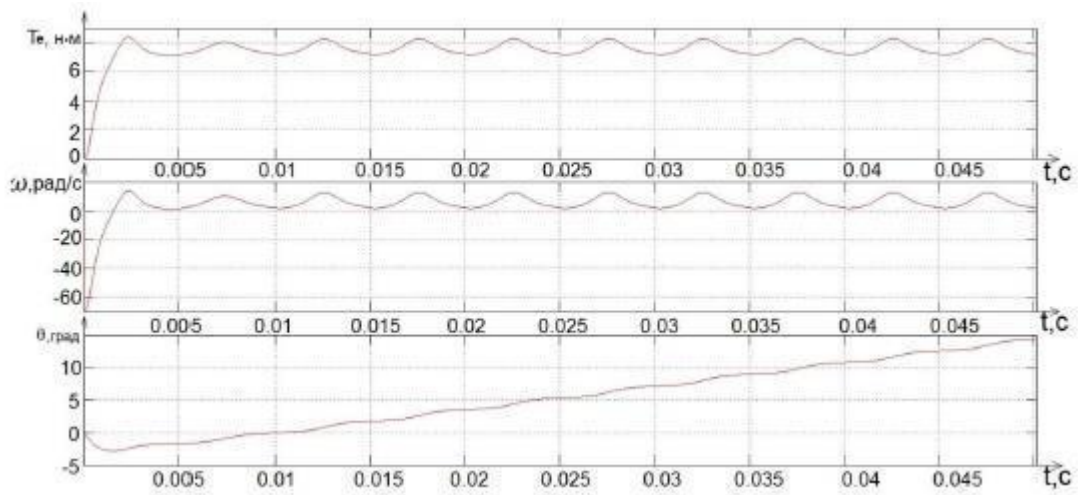


Рисунок 42 – Переходные процессы - $M(t)$ $\omega(t)$, угловая характеристика $\theta(t)$

Так же математическая модель ГШД позволяет рассматривать такой режим управления, как дробление шага. При моделировании полношагового режима управления, характеристики ГШД имеют следующий вид рисунок 43.

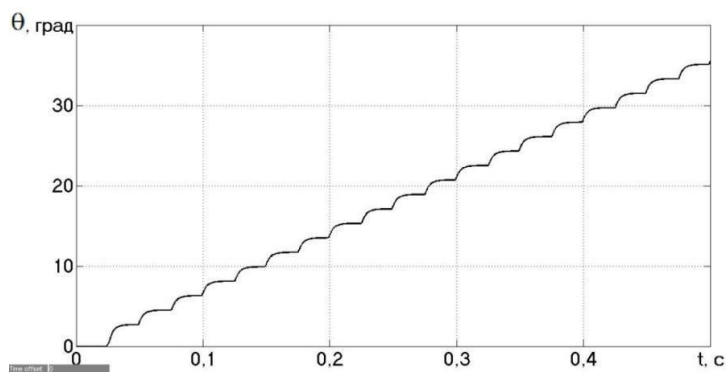


Рисунок 43 – Зависимость угла положения ротора от времени

При полношаговом режиме работы шагового двигателя (угол шага $S=1,8^\circ$) управляющие сигналы имеют форму, приведенную на рисунке 45. Из рисунков 44-45 видно, что за счет сдвига управляющих сигналов фаз на четверть периода в каждый момент времени работают обе фазы, это

позволяет увеличить электромагнитный момент двигателя. Так же управляющие сигналы фаз могут быть сдвинуты на половину периода.

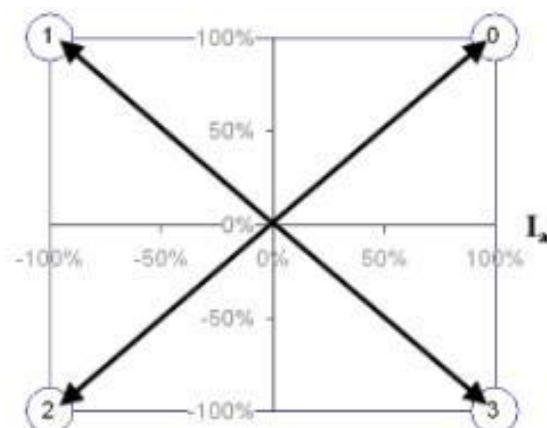


Рисунок 34 – Диаграмма токов в фазах при полношаговом режиме

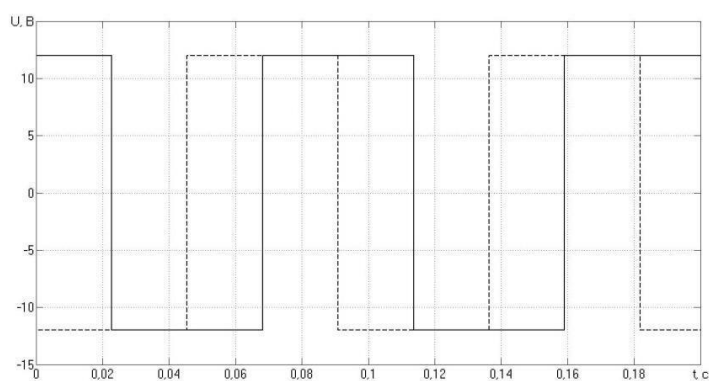


Рисунок 45 – Управляющие сигналы при полношаговом режиме

При рассмотрении дроблении шага ШД на 2 (полушаговый режим), характеристики будут иметь следующий вид рисунок 46.

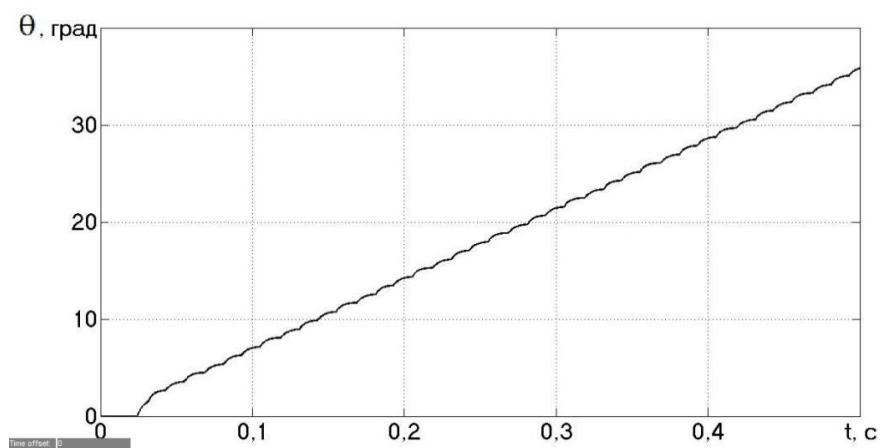


Рисунок 46 – Зависимость угла поворота ротора от времени при полушаговом режиме

Для того реализации полушагового режима (угол шага $S=0,9^\circ$) изменена форма управляющих сигналов путем добавления уровней рисунок 47.

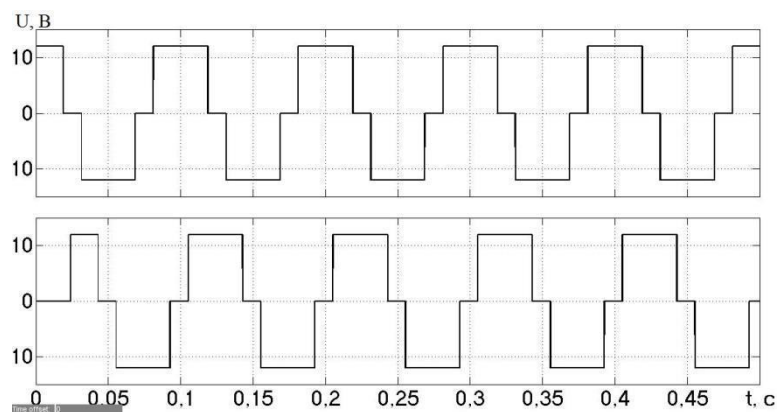


Рисунок 47 – Управляющие сигналы при полушаговом режиме

Из рисунка 48 видно, что при полушаговом режиме полный оборот ротора осуществляется 8-ю состояниями подключения обмоток: 4 состояния, при которых работает обмотка только одной фазы; 4 состояния, при которых работают обмотки обеих фаз.

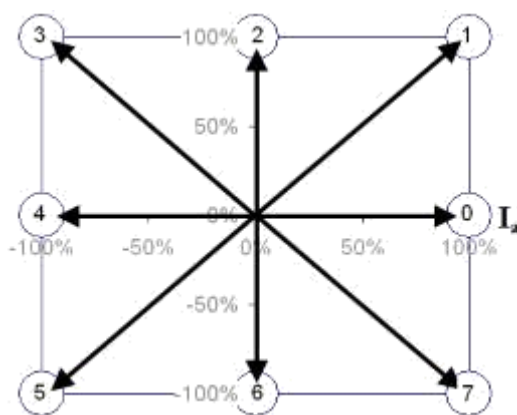


Рисунок 48 – Диаграмма токов в фазах при полушаговом режиме

Формирование управляющих сигналов производилось путем разбиения периода на 8 интервалов рисунок 49. При частоте 5 Гц длительность каждого интервала составляет 0,025 с.

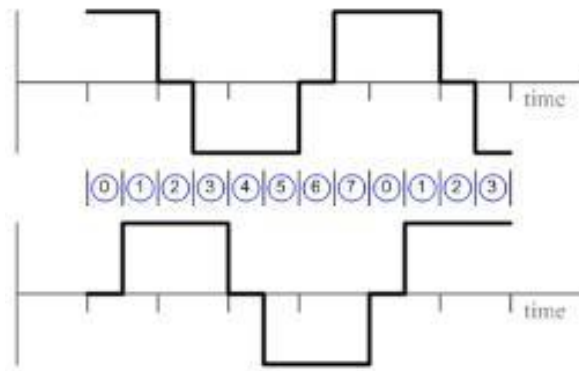
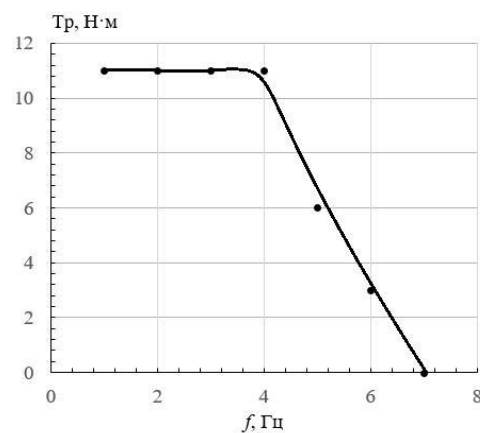


Рисунок 49 – Разбиение управляющих сигналов

Механическая характеристика ШД при полушаговом режиме управления будет иметь следующий вид рисунок 50.



T_r – электромагнитный момент ШД, f – частота вращения ШД.

Рисунок 50 – Механическая характеристика при полушаговом режиме

Для дробления шага на 4 (микрошаговый режим) в соответствии с диаграммой рисунок 51 сформирован управляющий сигнал путем разделения синусного сигнала на 16 интервалов в каждом периоде рисунок 52.

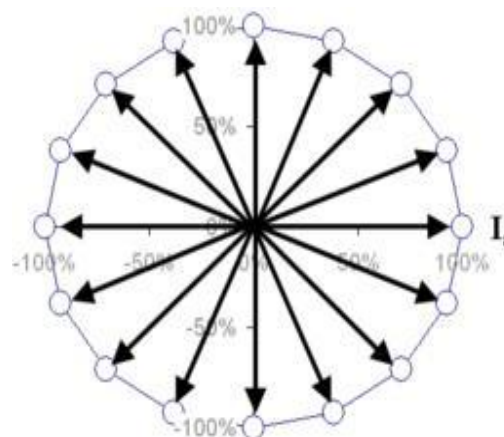


Рисунок 51 – Диаграмма токов в фазах при дроблении шага на 4 (микрошаговый режим)

Управляющие сигналы при микрошаговом режиме управления ШД будут иметь следующий вид (рисунок 52).

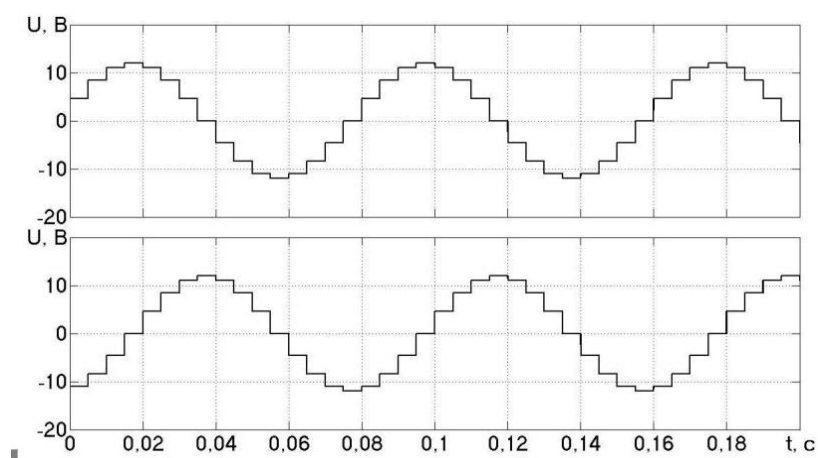


Рисунок 52 – Управляющие сигналы при микрошаговом режиме управления ШД

На рисунке 53 изображены механические характеристики при дроблении шага для библиотечной модели Simulink. До 7 Гц все режимы работы с дроблением шага поддерживают постоянный предельный момент. После 7 Гц происходит “срыв” шага двигателя. Наблюдается зависимость: чем больше дробление шага двигателя, тем меньшую частоту он может «отработать».

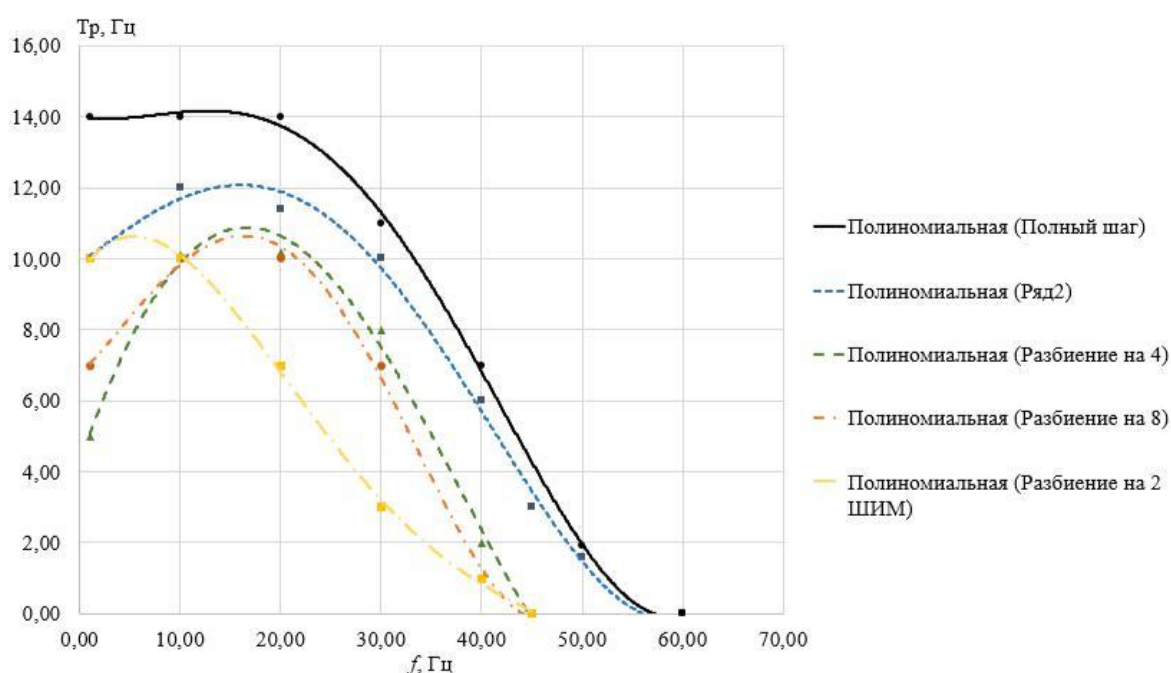


Рисунок 53 – Механические характеристики при дроблении шага

3.6 Оформление отчетов по лабораторным работам

По результатам лабораторной работы каждым студентом оформляется отчёт.

1. Отчет должен содержать постановку решаемой задачи (цель работы), исходные данные. Отчёт также должен содержать схему лабораторной установки, все необходимые расчёты с подробными пояснениями, результаты расчётов и моделирования в объёме, указанном в задании, и подробный их анализ. Анализ результатов экспериментов (выводы) предполагает качественную характеристику процессов (линейная или нелинейная характеристика; характер смещения характеристик, снятых в разных режимах друг относительно друга: смещение вниз, вправо и т.п.), статическим показателям (диапазон изменения измеряемого параметра, диапазон изменения варьируемого параметра, точность, погрешность линейности, значение частоты холостого хода, значение пускового момента, жесткость механической характеристики, крутизна регулировочной характеристики и т.д.).

2. Графический материал должен соответствовать стандартам. Раздел отчета не может начинаться или заканчиваться рисунком: рисунок должен быть обрамлён текстом. В тексте должна содержаться хотя бы одна ссылка на каждый из рисунков, причем первая из ссылок должна предшествовать рисунку. Обозначения и переменные, приведенные на рисунках, должны быть пояснены в тексте. Кроме того, текст должен содержать информацию о назначении каждого блока (элемента), приведенного на рисунках.

3. Отчёт выполняется в виде жесткой копии (на бумаге формата 210x297мм., плотность листа 80 г/м²) и в электронном виде. Отчёты с небрежно написанным текстом или небрежно выполненным графическим материалом к рассмотрению не принимаются. Электронные версии отчетов следует размещать в сетевой папке, приглашение в которую каждый из студентов получает от преподавателя по электронной почте.

3.7 Указания по технике безопасности

При работе на лабораторных стендах с персональным компьютером и блоками числового программного управления, необходимо соблюдать общие правила техники безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются бакалавры, прошедшие инструктаж по технике безопасности и охране труда.
2. Перед началом работы необходимо убедиться, что лабораторная установка обесточена, не имеет внешних визуальных повреждений.
3. Замена блоков, отключение и подключение выполняется при отключенном питании.
4. Запрещается включать стенд без разрешения преподавателя.
5. При проведении работ с использованием осциллографа остерегаться одновременного касания руками корпуса осциллографа.
6. Запрещается самостоятельно устранять неисправности, необходимо отключить напряжение и поставить в известность преподавателя.
7. Помещение лаборатории должно быть оборудовано системой пожарной сигнализации и первичными средствами пожаротушения, средствами оказания первой медицинской помощи.

3.8.Специальные вопросы обеспечения безопасности

Вопросы обеспечения мер безопасности остаются важнейшими в любых областях жизнедеятельности человека. Эти аспекты достаточно объемны и в профессиональной деятельности реализуются с помощью использования технической защиты. К примеру, разработка технических требований, которые необходимы для обеспечения безопасности. В данном разделе рассмотрен ряд аспектов таких как:

- Функциональная безопасность электрических и электронных систем;
- Электромагнитная совместимость;
- Электробезопасность.

В лабораторной установке используется компьютерная система (программируемая электронная система). В вопросе реализации эффективной и безопасной эксплуатации лабораторной установки важным аспектом является наличие в своем распоряжении у лиц, работающих с данной установкой, руководства по вопросам обеспечения безопасности, которое они могли бы использовать в помощь при выполнении лабораторных работ.

Стандарт функциональной безопасности электрических, электронных и программируемых электронных систем устанавливает подход к вопросам обеспечения безопасности на жизненном цикле элементов и лабораторной установки в целом.

Цели стандарта функциональной безопасности электрических, электронных и программируемых электронных систем структурированы на систематической основе стадии жизненного цикла лабораторной установки, которые должны быть рассмотрены для достижения функциональной безопасности, связанные с безопасностью всего жизненного цикла системы.

В настоящее время зафиксированы общие условия безопасности к следующим типам электрического оборудования и его дополнительным вспомогательным устройствам при различных условиях использования по назначению.

Данное оборудование используется для получения показателей измерения, отображения, регистрации, проверки и анализа свойств материалов, или используется для приготовления материалов, а также, предназначено для диагностики в лабораторных условиях.

Настоящее оборудование допускается к использованию не только в лабораторных условиях. Примерами такого оборудования могут служить самотестирующееся оборудование, которое эксплуатируется в домашних условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был произведен анализ важности использования лабораторных стендов для повышения качества образования студентов и необходимости модернизации лабораторного стенда с числовым программным управлением на шаговых двигателях

Проанализирован имеющийся лабораторный стенд. По результатам анализа было принято решение о разработке нового лабораторного стенда.

Сделан обзор математических моделей шагового двигателя. Модели, содержат описание электромагнитной и механической частей.

Выбран шаговый двигатель для создания лабораторного стенда. Для этого произведен обзор имеющихся вариантов с оценкой их достоинств и недостатков.

Рассмотрены способы управления шаговым двигателем: дробление шага и векторное управление шаговым двигателем. Проанализированы их преимущества и недостатки.

Разработана электромеханическая часть лабораторной установки. Выбран для использования в стенде гибридный униполярный шаговый двигатель. Механическая часть имитирует одну ось станка с ЧПУ.

Произведен анализ имеющихся решений по управлению лабораторным стендом

Выбраны компоненты системы управления ШД: плата управления, силовая плата (драйвер). Принято решение самостоятельно изготовит данные блоки.

Проведен анализ доступных программ управления, выбрана программа VRI-CNC. Проведено ее описание.

Изготовлена плата управления, изготовлена плата драйвера. Смонтирована механическая часть установки.

Разработана программа курса лабораторных работ.

-Лабораторной работа №1 «Ознакомление с лабораторным стендом и принципами работы шагового двигателя»

- Лабораторная работа №2 «Шаговый двигатель эффект резонанса»
- Лабораторная работа №3 «Знакомство с принципами работы ЧПУ»
- Лабораторная работа №4 «Математическое моделирование шагового двигателя в среде Matlab Simulink»

Рассмотрены требования к оформлению отчетов лабораторных работ.

Рассмотрены Указания по технике безопасности.

В дальнейшем необходимо произвести разработку полных методических указаний курса лабораторных работ и включить данные лабораторные работы в курс обучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Samokhvalov, D. Hybrid Stepper Motor Modeling in Simulink./ D. Samokhvalov, S. Stoliarov, A. Kekkonen // «LETI» Departament of robotics and in-dustrial automation//.-4с
2. Derammelaere, S. Efficiency of Hybrid Stepper Motors./ S Derammelaere, B.Vervisch, J. Cottyn// Ghent University in Belgium//.-60с.
3. Смирнов, А.А. Методическое пособие «Изучение принципов работы шагового двигателя и принципа программного управления для систем автоматического управления»/ А. А. Смирнов, 2015-26с.
4. Самохвалов, Д.В., Электронные преобразователи энергии. Методические указания к лабораторным работам/ Д.В. Самохвалов СПб.: Изд-во СПГЭТУ «ЛЭТИ», 2016-36с.
5. PololuRobotics&Electronics.[электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.pololu.com/product/2133> (Дата обращения 11.04.2018).
6. Sait Hong Electric, Increment Encoder INC3808. .[электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.saithongelectric.com> (Дата обращения 22.3.2018)
7. Kai-Uwe Veregge, New benefits of vector control of hybrid stepper motors with encoder/ Kai-Uwe Veregge/Germany.-5.
8. Бобров, Е.В., Способы управления гибридным шаговым двигателем: материалы VII межвузовской научно-практической конференции/ Е.В. Бобров/ СПб.: Изд-во ГУМРФ им. ад. С.О. Макарова, 2016.-540 с.
9. High-Performance Motor Drives / Kazmierkowski M.P., Franquelo L.G., Rodriguez J. et al. // IEEE Industrial Electronics, 2016. vol. 5. № 3. PP. 6-26с.
10. Правила устройства электроустановок. .[электронный ресурс] Режимдоступа: <http://electricalschool.info/books/504-puje-7-pravila-ustrojjstva.html> (Дата обращения 22.02.2018)

11. Сервопривод INNOCONT// Шаговые приводы. .[электронный ресурс] Режим доступа: <http://spb.prst.ru/innocont.html> (Дата обращения 11.03.2018)
12. Butcher, M. Hybrid stepper motor electrical model extensions for use in intelligent drives/ M. Butcher, A Masi, R. Picatoste//. – 13.
13. Bellini, A. Mixed-mode PWM for high-perfomance stepping motors/ A. Bellini, C. Concari, A. Toscani// – 11.
14. Lewandowski, D. Dynamical simulation of a nonlinear stepper motor system/D. Lewandowski, J. Awrejcewicz//.2014 – 5.
15. Блажко Н.В., Вопросы обеспечения безопасности в выпускных квалификационных работах / Н. В. Блажко, В. А. Буканин, О. В. Демидович, А.Н. Иванов и др. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 80 с.
16. Уголовный кодекс Российской Федерации" от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 17.04.2017)
17. Кравченко А.О. Стенд электропривода с шаговым двигателем // РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ: сборник статей Международной научно -практической конференции (18 мая 2017 г., г. Уфа). В 4 ч. Ч.2 / - Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – С.73-75.
18. Мазеин П.Г. Роль учебных компьютеризированных комплексов в повышении эффективности внеаудиторных занятий/ Учебное пособие. - Челябинск: ЮУрГУ, 2013. - С. 91-95.
19. Vri-cnc: [Электронный ресурс]. Ветров Р. URL: <http://vri-cnc.ru>. (Дата обращения: 18.04.2017)
20. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н (ред. от 19.02.2016) (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593).
21. Abdelhak Benkrid. Operational Amplifier Applications. / Abdelhak Benkrid. - Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013.

22. Mohit Chand. DC-Link Capacitor Voltage Balancing for Neutral Point Clamped Inverter. / Mohit Chand. - Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2016 – 84 p
23. Тимофеев, И.А. Основы электротехники, электроники и автоматики. Лабораторный практикум. / И.А. Тимофеев. – СПб.: Лань, 2016. – 196 с.
24. Данилов, И.А. Общая электроника. Часть 1. / И.А. Данилов. - 2-е издание. - М.: Юрайт, 2017. – 426 с.
25. Черепашин, А.А. Электротехническое и конструкционное материаловедение. / А.А. Черепашин, Т.И. Балькова, А.А. Смолькин. – М.: Феникс, 2017. – 349 с.
26. Ревич, Ю. Азбука электроники. Учебник. / Ю. Ревич. – М.: АСТ, 2016. – 224 с.
27. Покотило, С.А. Электротехника и электроника. / С.А. Покотило, В.И. Панкратов. – М.: Феникс, 2017. - 283 с.
28. Шаговый двигатель.[электронный ресурс] . Режим доступа: <http://bib.convdocs.org> (Дата обращения 22.02.2018)
29. Правила устройства электроустановок .[электронный ресурс] .: <http://window.edu.ru/> (Дата обращения 15.03.2018)
30. Реферат ШД. [электронный ресурс] Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/29749/1/TPU205114.pdf> (Дата обращения 12.03.2018)
31. Классификации ШД. .[электронный ресурс] Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/> (Дата обращения 18.04.2018)