

## Лабораторная работа № 2 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Целью работы является изучение принципа действия и законов управления шаговым двигателем, экспериментальное исследование токов и напряжений и определение точности позиционирования шагового двигателя.

### Общие сведения

Шаговые двигатели применяются в системах дискретного (импульсного) действия. Эти двигатели преобразуют электрические импульсы напряжения в дискретные угловые или линейные перемещения ротора с возможной его фиксацией в нужных положениях. В случае непрерывной подачи импульсов шаговые двигатели формируют непрерывное вращение ротора. Причем, частота вращения задается частотой подаваемых импульсов и может изменяться в широких пределах. В том числе обеспечивая низкие частоты вращения при значительных величинах момента. Ротор шагового двигателя всегда перемещается неравномерно вслед за дискретно изменяющимся полем статора. Поэтому в случае непрерывного вращения приходится говорить о средней скорости вращения.

Ротор шагового двигателя обладает моментом инерции, и присоединенная к нему нагрузка создает момент сопротивления. Поэтому для каждого шагового двигателя существует определенная максимальная частота коммутации, при которой ротор еще следует за дискретно перемещающимся полем статора. Это частота называется частотой приемистости. Средняя скорость вращения ротора, соответствующая частоте приемистости, называется скоростью приемистости.

Большинство шаговых двигателей по своей конструкции являются многофазными и многополюсными синхронными машинами, роторы которых не имеют пусковой обмотки, что объясняется их частотным пуском. Роторы шаговых двигателей могут быть активными, т.е. содержащими постоянные магниты в качестве источника поля возбуждения, или пассивными, невозбужденными. Применяются и гибридные конструкции.

Питание обмоток может быть однополярным (униполярным), при котором напряжение на фазе изменяется от нуля до  $+U$ , или двухполярным (биполярным), при котором напряжение изменяется от  $-U$  до  $+U$ . Цепи питания, обеспечивающие только однополярное питание обмоток, отличаются простотой и меньшим числом используемых силовых ключей, что способствует повышению надежности и снижению стоимости коммутатора. Однако, их обмотки приходится собирать из двух

катушек для получения разного направления магнитного потока при одной и той же полярности подаваемого напряжения. Таким образом, в двигателе в каждый момент времени используется только половина всех размещенных катушек, что ухудшает использование двигателя. Напротив, цепи двухполярного питания позволяют создавать токи разной полярности в одних и тех же катушках фазных обмоток, хотя и используют для этого вдвое большее число силовых ключей. Зато в таком двигателе токи всегда протекают по всем катушкам, что позволяет получать в том же объеме больший момент (до 40% больше, чем при однополярном питании).

Современные электронные коммутаторы могут обеспечивать питание обмоток статора как поочередно, так и группами в различных сочетаниях, изменяя при этом число устойчивых состояний на периоде, а значит и шаг поворота ротора между соседними устойчивыми состояниями.

При самом простом способе управления – поочередном (волновом) питании фазных обмоток число устойчивых состояний на периоде может быть равно числу фаз  $c_y = m$  для однополярного питания или  $c_y = 2m$  для биполярного питания, а шаг (угол дискретного поворота ротора) равен  $2\pi/c_y$ . При этом каждому состоянию (такту коммутации) соответствует определенная величина и направление МДС статора, дискретно изменяющаяся при переходе к следующему такту. С целью увеличения МДС статора, а значит и величины магнитного потока и момента синхронизации, применяют одновременное включение нескольких фазных обмоток. Устойчивое состояние шагового двигателя в этом случае определяется направлением результирующей МДС, хотя число устойчивых состояний на периоде может и не измениться. Если при биполярном питании на каждом такте коммутации оказывается включено одинаковое число фаз (симметричная коммутация), то ротор двигателя будет иметь  $2m$  устойчивых положений. Если же поочередно включать разное число фаз на разных тактах коммутации (несимметричная коммутация), то число устойчивых положений ротора увеличится вдвое до  $4m$ , а шаг уменьшится в два раза.

Другой способ уменьшения шага заключается в применении многополюсных конструкций. Геометрический угол поворота ротора (шаг двигателя) оказывается в этом случае в  $p$  раз меньше угла поворота ротора двухполюсного двигателя между соседними устойчивыми состояниями (число устойчивых состояний на периоде при этом полагается неизменным).

Способы управления шаговыми двигателями можно также разделить на потенциальное и импульсное управление. При потенциальном управлении напряжения на обмотках изменяются только в момент поступления управляющего сигнала – команды на отработку

очередного шага. При отсутствии последующего сигнала обмотки остаются под напряжением и ротор фиксируется в соответствующем положении магнитным полем статора. Этот способ управления характеризуется постоянным потреблением электроэнергии, даже при отсутствии вращения ротора. При импульсном управлении обмотки автоматически обесточиваются по истечении определенного времени (длительности импульса). Ротор при этом должен фиксироваться во время паузы между импульсами либо собственным реактивным моментом (например, при наличии поля постоянного магнита), либо специальными магнитными, электромагнитными или механическими устройствами.

## **Программа работы**

### ***1. Экспериментальные исследования***

1. Изучить последовательность коммутации транзисторов в цепи питания шагового двигателя при полношаговом управлении при вращении вперед и назад. Повторить опыты при полушаговом и волновом управлении.

2. Определить точность позиционирования шагового двигателя при различных способах управления при большом и маленьком числе циклов коммутации.

3. Определить минимально необходимые значения тока в обмотках, обеспечивающие правильную работу шагового двигателя при разных режимах коммутации.

4. Снять осциллограммы токов и напряжений при разных режимах коммутации при непрерывном вращении шагового двигателя. Снять осциллограммы токов и напряжений при состоянии транзисторов, соответствующем одному из тактов коммутации. Провести опыты при разных значениях тока в обмотках.

### ***2. Обработка результатов эксперимента***

1. Построить графики напряжений питания обмоток ШД при полношаговом, полушаговом и волновом управлении на полном цикле коммутации.

2. Сделать выводы о точности позиционирования шагового двигателя при различных способах управления.

3. Оценить влияние величины тока на работоспособность, быстродействие и поведение шагового двигателя в переходном процессе. Сравнить минимальные токи при различных режимах коммутации.

4. Сравните формы тока и напряжения в обмотке при разных уровнях тока.

5. Сделать выводы о преимуществах и недостатках каждого из исследованных способов управления исполнительным двигателем постоянного тока.

## Пояснения и указания к работе

Для проведения экспериментов используется лабораторный стенд компании Галсен. Он включает в себя источник питания  $G1$  с автоматическим выключателем, блок исполнительного шагового двигателя  $A1$ , цифровой осциллограф и ноутбук с установленной программой PicoScore.



Общий вид лабораторного стенда

Лабораторный стенд содержит шаговый двигатель, цепь питания обмоток и контроллер, реализующий различные законы управления шаговым двигателем. Шаговый двигатель имеет две фазные обмотки  $L1$  и  $L2$  и активный ротор, поворачивающийся с шагом  $18^\circ$ .

Цепь питания каждой фазной обмотки выполнена в виде мостовой схемы и содержит четыре транзистора  $VT1 \dots VT4$  для фазы  $L1$  и  $VT5 \dots VT8$  для фазы  $L2$ . Светодиод в цепи каждого транзистора сигнализирует о включенном или выключенном состоянии транзистора. Можно считать, что положительное направление тока в фазе  $L1$  соответствует включенным транзисторам  $VT3$  и  $VT4$ , положительное направление тока в фазе  $L2$  соответствует включенным транзисторам  $VT7$  и  $VT8$ .

Мостовые схемы цепей питания подключены к источнику постоянного напряжения. Цепь питания имеет функцию ограничения тока. Степень ограничения тока задается рукояткой «Logr» и выражается в процентах от номинального значения тока. Соответствующее значение выводится на дисплее в режиме отображения контролируемых параметров.

Сигналы управления транзисторами цепей питания формируются контроллером, который может реализовать полношаговое, полушаговое и волновое управление шаговым двигателем. Выбор закона управления («шаг», « $1/2$  шага» и «wave») осуществляется с помощью кнопок «+»/«-» в

режиме задания массива настраиваемых параметров (выбор настраиваемого параметра осуществляется с помощью кнопок «▲»/«▼»)

В режиме полного шага двигатель на каждом такте поворачивается на 1 шаг ( $18^\circ$ ). Полный цикл управления составляет 4 такта, после чего цикл повторяется (рис. 2.1). При полношаговом управлении в любой момент времени ток протекает по обеим обмоткам двигателя, что обеспечивает получение максимального момента.

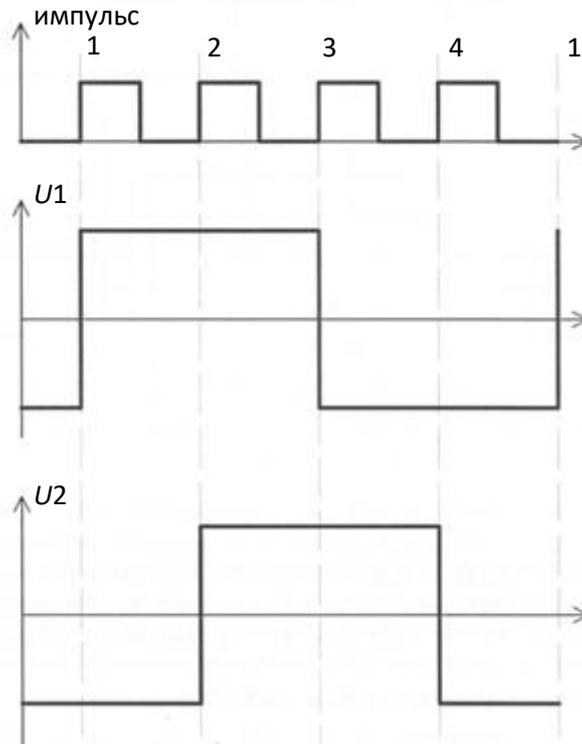


Рис. 2.1. Управление ШД в режиме полного шага

В режиме полушага осуществляется несимметричное управление, на разных тактах включается различное число фаз (одна из фаз оказывается обесточенной). В результате двигатель на каждом такте поворачивается на половину полного шага ( $9^\circ$ ), а полный цикл управления составляет 8 тактов (рис. 2.2). Используемый в лабораторной работе шаговый двигатель изначально предназначен для работы только с полным шагом, поэтому остаточная намагниченность полюсов с отключенной обмоткой оказывает заметное влияние на поворот ротора и точность его позиционирования.

В волновом режиме двигатель, как и в режиме полного шага, поворачивается на 1 шаг ( $18^\circ$ ) на каждом такте и полный цикл управления составляет 4 такта (рис. 2.3). Но здесь на каждом такте включена только одна обмотка двигателя, что приводит к уменьшению развиваемого момента.

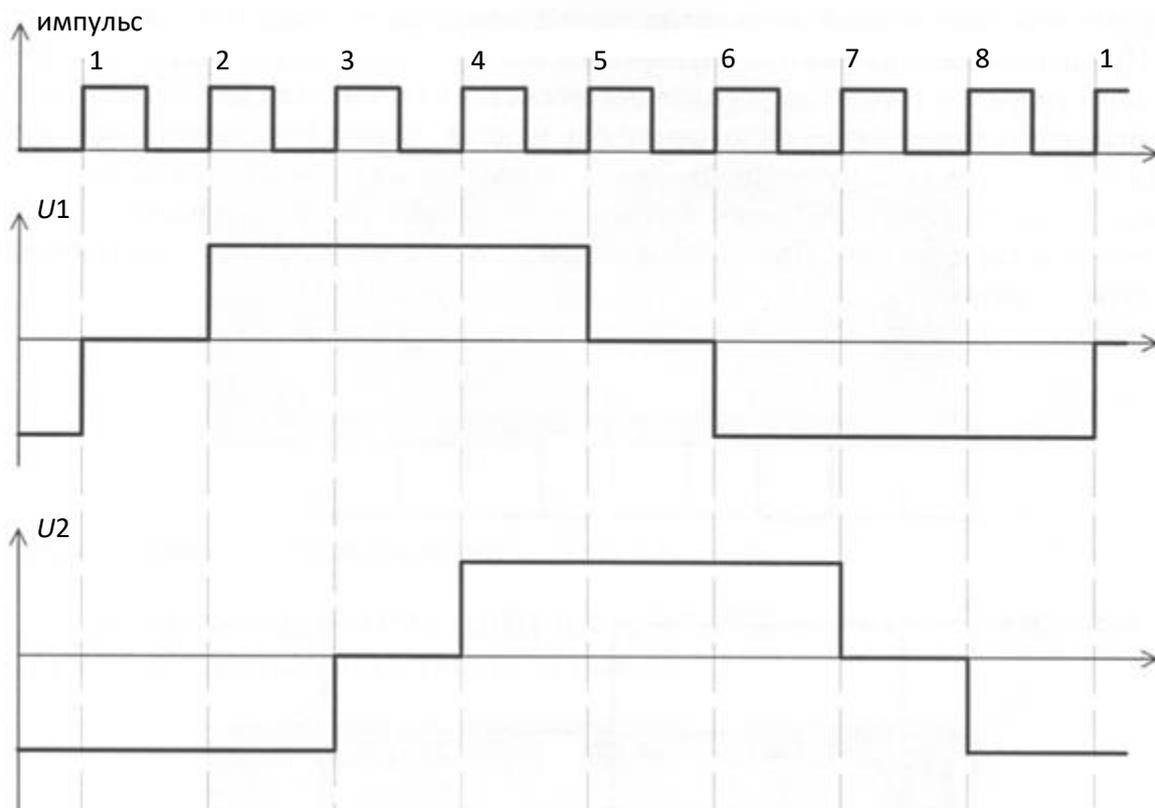


Рис. 2.2. Управление ШД в режиме полушага

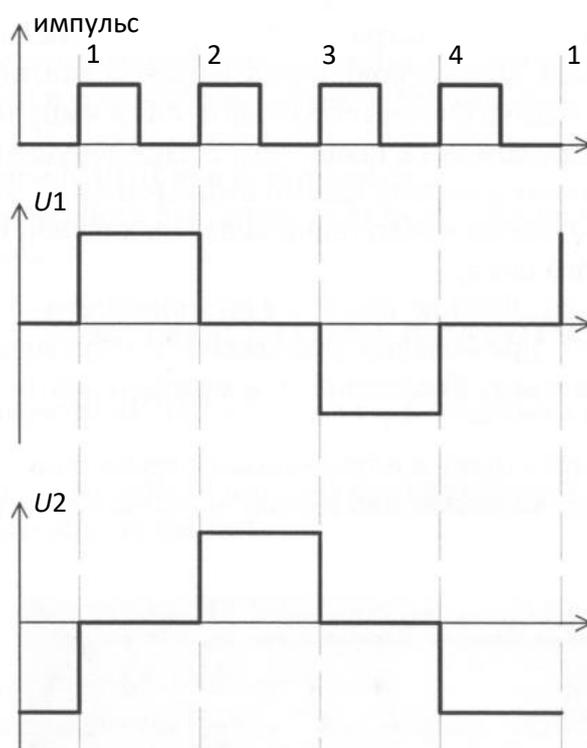


Рис. 2.3. Управление ШД в волновом режиме

В лабораторной работе контроллер можно использовать в режиме отработки отдельных импульсов или подачи непрерывных импульсов с заданной частотой. Выбор режима работы («импульс» или «частота») осуществляется с помощью кнопок «+»/«-» в режиме задания массива настраиваемых параметров (выбор настраиваемого параметра осуществляется с помощью кнопок «▲»/«▼»).

В процессе работы, когда дисплей находится в режиме отображения контролируемых параметров, можно задать необходимое число импульсов или частоту непрерывной подачи импульсов с помощью рукоятки энкодера «Uупр».

В режиме отработки отдельных импульсов можно заранее ввести число импульсов, поворачивая рукоятку энкодера «Uупр». После нажатия кнопки «пуск» шаговый двигатель обрабатывает заданное число импульсов и останавливается в новом положении, которое можно контролировать визуально по повороту барабана со шкалой угловых положений.

Если при нулевом заданном числе импульсов нажать кнопку «пуск», то шаговый двигатель переходит в режим отработки одиночных импульсов, обрабатывая каждый новый такт при повороте рукоятки энкодера «Uупр» вправо или влево. При этом по свечению индикаторов можно судить о срабатывании транзисторов в цепи питания, а по шкале барабана – о точности отработки каждого шага. Уменьшая допустимую величину тока в обмотках двигателя с помощью рукоятки «Iогр» можно определить минимальную величину тока, при которой двигатель еще обрабатывает управляющие команды для заданного режима управления. Увеличивая ток можно оценить влияние величины тока на колебания механической системы.

В режиме непрерывной подачи импульсов с заданной частотой можно заранее ввести требуемую частоту подачи импульсов, поворачивая рукоятку энкодера «Uупр». После нажатия кнопки «пуск» шаговый двигатель переходит в режим непрерывного вращения, а в третьей строке дисплея появляется значение числа оборотов (отсчитываемое по числу переходов барабана через отметку «0»).

Изменяя заданную частоту импульсов, режим подачи импульсов (закон управления) и степень ограничения тока можно определить, при каких условиях происходит срыв вращения шагового двигателя.

Для контроля законов управления (напряжения на фазных обмотках двигателя) и токов фаз используется цифровой осциллограф, подключенный к ноутбуку с установленной программой PicoScope. Для получения входных сигналов зажимы осциллографа подключают к соответствующим выводам цепи питания каждой фазной обмотки:  $U_{L1}$  и  $U_{L2}$  для получения напряжений на фазе  $L1$  и фазе  $L2$  и  $I_{L1}$  и  $I_{L2}$  для

получения токов фаз  $L1$  и  $L2$  (падения напряжения на измерительных резисторах в каждой фазе).

### **Изучение последовательности коммутации транзисторов в цепи питания ШД при различных законах управления**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока исполнительного шагового двигателя  $A1$ .

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Перечень экспериментов» и с помощью кнопки «▲» выберите **Эксперимент 1: Изучение режимов коммутации ключей.**

Ручкой регулятора тока « $I_{огр}$ » задайте ограничение тока на уровне 80% от номинального тока.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите требуемый режим коммутации ШД: полношаговый, полушаговый или волновой (начните с полношагового). Затем кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим подачи одиночных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры». Стенд готов к проведению исследования.

Запустите контроллер, нажав кнопку «Пуск». При этом загорятся светодиоды, показывающие включенное состояние транзисторов на начальном такте коммутации (импульс 0). Отметьте состояние всех транзисторов для этого такта в таблице 2.1. Включенное состояние транзистора можно отмечать цифрой 1, отключенное – цифрой 0. Там же зафиксируйте начальное угловое положение ротора по индикаторам на барабане.

Таблица 2.1.

такт	0	1	2	3	4	...				
угол										
$VT1$										
$VT2$										
$VT3$										
$VT4$										
$VT5$										
$VT6$										
$VT7$										
$VT8$										
ток $L1$										
ток $L2$										

В таблице принято:

такт – порядковый номер такта коммутации (импульса, формируемого контроллером);

угол – угловое положение барабана шагового двигателя, град;

$VT1...VT8$  – состояние соответствующего транзистора в цепи питания (0/1);

ток  $L1$ , ток  $L2$  – направление тока в обмотке  $L1, L2$ , определяемое по комбинации включенных транзисторов («+»/«-»).

Поверните рукоятку энкодера «Уупр» на один шаг по часовой стрелке, что соответствует следующему такту в прямом направлении. Для этого такта (импульс 1) зафиксируйте в таблице 2.1 состояние транзисторов и угловое положение ротора. Прделайте еще не сколько тактов до прохождения полного цикла коммутации (когда состояние транзисторов вернется к их состоянию на нулевом такте), фиксируя состояние транзисторов и угловое положение ротора.

Подключите осциллограф к гнездам  $I_{L1}$  и  $I_{L2}$  на панели блока шагового двигателя и по полученным осциллограммам проконтролируйте полярность тока в каждой фазе на каждом такте коммутации. Отметьте полярность тока на каждом такте знаком «+» или «-» в таблице 2.1. Сохраните осциллограмму токов для отчета.

Сбросьте счетчик числа импульсов в ноль, нажав на кнопку энкодера «Уупр». Повторите опыты для противоположного направления вращения, вращая рукоятку энкодера «Уупр» против часовой стрелки. Заполните вторую часть таблицы 2.1. По окончании работы нажмите кнопку «Стоп» для отключения контроллера.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите следующий режим коммутации ШД. Убедитесь, что установлен режим подачи одиночных импульсов. Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры».

Повторите опыты по изучению последовательности коммутации транзисторов для полушагового режима коммутации, а затем для волнового режима коммутации.

По окончании экспериментов отключите выключатель «Сеть» блока шагового двигателя, отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

При обработке результатов эксперимента для каждого режима коммутации следует определить количество тактов в полном цикле

коммутации. Оцените точность обработки шага (угла поворота) на каждом такте коммутации. Постройте график коммутации напряжений на фазных обмотках для полного периода коммутации для вращения вперед и назад при полношаговом управлении. Постройте графики коммутации для полушагового и волнового управления. Примерный вид графиков коммутации показан на рис. 2.1 – 2.3.

### **Определение точности позиционирования шагового двигателя**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока исполнительного шагового двигателя  $A1$ .

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Перечень экспериментов» и с помощью кнопки «▲» выберите *Эксперимент 1: Изучение режимов коммутации ключей*.

Ручкой регулятора тока « $I_{огр}$ » задайте ограничение тока на уровне 80% от номинального тока.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите требуемый режим коммутации ШД: полношаговый, полушаговый или волновой (начните с полношагового). Затем кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим подачи одиночных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры». Стенд готов к проведению исследования.

Отметьте начальное положение барабана шагового двигателя.

Поворачивая рукоятку энкодера « $U_{упр}$ » по часовой стрелке задайте требуемое количество импульсов (таков коммутации), которое должен отработать шаговый двигатель (4-5, лучше 10 периодов).

Запустите контроллер, нажав кнопку «Пуск». После того, как шаговый двигатель отработает заданное число тактов коммутации отметьте новое положение барабана шагового двигателя и сравните его с ожидаемым значением (один шаг при полношаговом и волновом режимах коммутации равен  $18^\circ$ , при полушаговом режиме коммутации шаг равен  $9^\circ$ ). Остановите работу контроллера кнопкой «Стоп».

Поворачивая рукоятку энкодера « $U_{упр}$ » против часовой стрелки задайте такое же количество импульсов, что и в прямом направлении.

Нажмите кнопку «Пуск» и дождитесь, когда шаговый двигатель отработает новое задание. Отметьте новое положение барабана шагового двигателя и сравните его с начальным положением. Остановите работу контроллера кнопкой «Стоп».

Определите точность обработки задания шаговым двигателем, сравнив начальное и конечное положения барабана.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите следующий режим коммутации ШД. Убедитесь, что установлен режим подачи одиночных импульсов. Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры».

Повторите опыты по определению точности позиционирования шагового двигателя для полушагового режима коммутации, а затем для волнового режима коммутации.

По окончании экспериментов отключите выключатель «Сеть» блока шагового двигателя, отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

Сделайте выводы о точности позиционирования шагового двигателя при разных режимах коммутации.

### **Определение влияния величины тока в обмотках на работу шагового двигателя**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока исполнительного шагового двигателя  $A1$ .

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Перечень экспериментов» и с помощью кнопки «▲» выберите *Эксперимент 1: Изучение режимов коммутации ключей*.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите требуемый режим коммутации ШД: полношаговый, полушаговый или волновой (начните с полношагового). Затем кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим подачи одиночных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры». Стенд готов к проведению исследования.

Ручкой регулятора тока « $I_{огр}$ » задайте ток равным 100% от номинального тока двигателя.

Включите контроллер, нажав кнопку «Пуск».

Поверните рукоятку энкодера « $U_{упр}$ » по часовой стрелке на 3 такта и отметьте угол поворота барабана шагового двигателя.

Повторите опыты с обработкой нескольких тактов коммутации, постепенно уменьшая ток двигателя с помощью рукоятки регулятора тока « $I_{огр}$ ». Найдите минимальный ток двигателя, при котором шаговый двигатель перестает обрабатывать задание.

Задайте ток двигателя на 10% больше найденного минимального значения. Поверните рукоятку энкодера «Уупр» по часовой стрелке на 1 такт. Запомните поведение барабана в переходном процессе при минимально необходимом уровне тока.

Задайте ток двигателя на уровне 100% от номинального. Поверните рукоятку энкодера «Уупр» по часовой стрелке на 1 такт. Сравните поведение барабана в переходном процессе при номинальном и минимально необходимом уровне тока. Оцените влияние величины тока на быстрдействие и колебания барабана шагового двигателя.

Выключите контроллер, нажав кнопку «Стоп».

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите следующий режим коммутации ШД. Убедитесь, что установлен режим подачи одиночных импульсов. Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры».

Повторите опыты по определению минимального тока двигателя и оценке поведения шагового двигателя в переходном процессе для полушагового режима коммутации, а затем для волнового режима коммутации.

Сравните минимальные токи при различных режимах коммутации. Сделайте выводы о влиянии величины тока в обмотках на работу шагового двигателя.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите требуемый режим коммутации ШД: полношаговый, полушаговый или волновой (начните с полношагового). Затем кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим задания частоты непрерывных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры». С помощью поворота рукоятки энкодера «Уупр» задайте частоту импульсов, равную 10 Гц.

Ручкой регулятора тока «Iогр» задайте минимальное значение тока. Нажмите кнопку «Пуск» для включения контроллера и проконтролируйте, запустился ли шаговый двигатель. Постепенно увеличивая значение тока, определите минимальное значение тока, необходимое для запуска шагового двигателя при заданной частоте импульсов. Занесите найденное значение тока в таблицу 2.2. Остановите контроллер, нажав кнопку «Стоп».

Увеличьте частоту импульсов на 10 Гц, задайте минимальное значение тока и включите контроллер, нажав кнопку «Пуск». Определите минимальное значение тока, необходимое для запуска шагового двигателя при заданной частоте импульсов. Занесите найденное значение тока в таблицу 2.2. Остановите контроллер, нажав кнопку «Стоп».

Повторите опыты по определению минимального тока для разных частот, вплоть до частоты 70 Гц.

Таблица 2.2.

Полношаговый режим коммутации							
$f$ , Гц	10	20	30	40	50	60	70
$I_{\min}$ , %							
Полушаговый режим коммутации							
$f$ , Гц	10	20	30	40	50	60	70
$I_{\min}$ , %							
Волновой режим коммутации							
$f$ , Гц	10	20	30	40	50	60	70
$I_{\min}$ , %							

В таблице принято:

$f$  – частота подачи импульсов, Гц;

$I_{\min}$  – минимальное значение тока, при котором происходит запуск двигателя, относительно номинального тока, %.

Повторите опыты по определению минимальных значений тока для разных частот импульсов для полушагового и волнового режимов коммутации.

Сравните минимальные токи при различных режимах коммутации. Сделайте выводы о влиянии величины тока в обмотках на процесс пуска шагового двигателя.

По окончании экспериментов отключите выключатель «Сеть» блока шагового двигателя, отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

### **Исследование формы токов и напряжений обмоток шагового двигателя при разных режимах коммутации**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока исполнительного шагового двигателя  $A1$ .

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Перечень экспериментов» и с помощью кнопки «▲» выберите **Эксперимент 1: Изучение режимов коммутации ключей.**

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров» и с помощью кнопок «+»/«-» установите требуемый режим коммутации ШД: полношаговый,

полушаговой или волновой (начните с полношагового). Затем кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим задания частоты непрерывных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры».

Ручкой регулятора тока «Iогр» задайте ограничение тока на уровне 100% от номинального тока. С помощью поворота рукоятки энкодера «Уупр» задайте частоту импульсов, равную 50 Гц. Запустите контроллер, нажав кнопку «Пуск». Шаговый двигатель начнет вращение.

Подключите осциллограф к гнездам  $I_{L1}$  и  $I_{L2}$  на панели блока шагового двигателя. Развертку усилителя установите на уровне 50 ms/div. Снимите осциллограммы токов обмоток двигателя.

Подключите осциллограф к гнездам  $I_{L1}$  и  $U_{L1}$  на панели блока шагового двигателя. Снимите осциллограммы тока и напряжения обмотки  $L1$  шагового двигателя.

Подключите осциллограф к гнездам  $U_{L1}$  и  $U_{L2}$  на панели блока шагового двигателя. Снимите осциллограммы напряжений обмоток шагового двигателя.

Выключите контроллер, нажав кнопку «Стоп».

Повторите опыты для других режимов управления. Сравните осциллограммы напряжений  $U_{L1}$  и  $U_{L2}$  и с графиками коммутации для соответствующего режима управления.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Массив настраиваемых параметров», кнопками «▲»/«▼» переключитесь в режим задания способа управления двигателем и с помощью кнопок «+»/«-» установите режим подачи отдельных импульсов.

Кнопкой «Выбор информации на дисплее» активируйте режим «Контролируемые параметры».

Ручкой регулятора тока «Iогр» задайте ограничение тока на уровне 80% от номинального тока.

Запустите контроллер, нажав кнопку «Пуск». Поворачивая рукоятку энкодера «Уупр», установите режим, когда включены транзисторы  $VT3$ - $VT4$  и  $VT5$ - $VT6$ .

Подключите осциллограф к гнездам  $I_{L1}$  и  $U_{L1}$  на панели блока шагового двигателя. Снимите осциллограммы ШИМ сигнала тока и напряжения обмотки  $L1$  шагового двигателя.

Подключите осциллограф к гнездам  $I_{L2}$  и  $U_{L2}$  на панели блока шагового двигателя. Снимите осциллограммы ШИМ сигнала тока и напряжения обмотки  $L2$  шагового двигателя.

Определите влияние тока в обмотках на форму напряжения и тока в обмотке  $L2$  шагового двигателя. Уменьшите ток до 60% от номинального тока и снимите осциллограммы ШИМ сигнала тока и напряжения обмотки  $L2$  шагового двигателя.

Сравните формы тока и напряжения в обмотке при разных уровнях тока. Сделайте вывод о влиянии величины тока на форму тока и напряжения

По окончании экспериментов отключите выключатель «Сеть» блока шагового двигателя, отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные достоинства и недостатки, области применения шаговых двигателей.

2. Опишите типовую конструкцию шагового двигателя с активным ротором.

3. Опишите типовую конструкцию шагового двигателя индукторного типа.

4. Опишите конструкцию гибридного шагового двигателя.

5. Чем различаются однополярная и двухполярная цепи питания обмоток шагового двигателя? Каковы их преимущества и недостатки?

6. Перечислите основные способы управления коммутацией обмоток шагового двигателя. Сравните их преимущества и недостатки.

7. Для чего применяется ограничение тока обмоток?

8. Как влияет величина тока на работоспособность шагового двигателя?

9. Что такое частота приемистости шагового двигателя? Что влияет на ее величину?

10. В каких случаях может произойти потеря шага? Как предотвратить такую ситуацию?

### Литература

1. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003 - 410 с. (*Глава 13. Шаговые исполнительные двигатели*).

2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств – М.: Высш. школа, 1988 – 479 с. (*Глава 12. Шаговые исполнительные двигатели*).

3. Дмитрий Левкин. Шаговые двигатели // Инженерные решения [сайт]. URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/stepper/>, дата обращения: 04.01.2022)