

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель  
**И. Ю. Семькина**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СКАЛЯРНОГО ЧАСТОТ- НОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

**Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Автоматизированный электропривод  
машин и установок горного производства»**

Рекомендованы учебно-методической комиссией специальности  
21.05.04 «Горное дело» в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты

Григорьев А. В. – доцент кафедры электропривода и автоматизации

Шаулева Н. М. – заведующий кафедрой электропривода и автоматизации

**Семыкина Ирина Юрьевна**

**Исследование способов скалярного частотного управления асинхронным двигателем:** методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства» [Электронный ресурс]: для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализация Электрификация и автоматизация горного производства, очной формы обучения / сост.: И.Ю. Семыкина; КузГТУ. – Кемерово, 2019. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

В методических указаниях к лабораторной работе приведены цели и задачи, дано краткое изложение теории и описание лабораторного стенда, дан порядок выполнения работы, требования к оформлению отчета, вопросы для самопроверки и список рекомендуемой литературы.

© КузГТУ, 2019

© Семыкина И. Ю.,  
составление, 2019

Цель работы: Изучение различных способов скалярного частотного управления и приобретение практических навыков ввода в эксплуатацию и работы с системой преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В современной промышленности регулируемый асинхронный электропривод практически вытеснил электропривод, построенный на базе двигателя постоянного тока. Это связано в первую очередь с простотой асинхронного двигателя (АД). Отсутствие щеточно-коллекторного аппарата повышает надежность двигателя и всего привода, поэтому АД с короткозамкнутым ротором не имеет коммутационных ограничений по угловой скорости и нагрузке, которые усложняют эксплуатацию двигателя постоянного тока. По сравнению с двигателем постоянного тока АД имеет меньшие размеры. Меньший момент инерции ротора позволяет получить с помощью АД высокие ускорения при относительно небольшом движущем моменте.

Второй по важности причиной распространения регулируемых асинхронных электроприводов стала простота и доступность преобразователей частоты (ПЧ), позволяющих осуществлять частотное регулирование АД, которое играет важную роль среди способов регулирования угловой скорости АД, поскольку при относительной простоте позволяет регулировать угловую скорость АД в достаточно широких пределах. Преимуществом частотно-регулируемого асинхронного электропривода являются благоприятные энергетические показатели. Это объясняется тем, что АД работает при малых скольжениях, что обуславливает малые потери и высокий КПД на всем диапазоне регулирования угловой скорости.

Наиболее простым способом частотного регулирования АД является скалярное частотное управление по разомкнутой схеме. Принцип регулирования при этом базируется на линейной зависимости угловой скорости идеального холостого хода  $\omega_0$  от частоты питающего напряжения  $f_1$ :

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p_n, \quad (1)$$

где  $p_n$  – число пар полюсов электродвигателя.

При частотном регулировании одновременно с изменением частоты необходимо изменять напряжение  $U_1$ , подведенное к статору АД. Существует несколько принципов одновременного регулирования частоты и напряжения. Чаще всего стремятся сохранить постоянной перегрузочную способность асинхронного двигателя, т. е. сделать так, чтобы при всех режимах отношение максимального критического момента  $M_k$  к моменту сопротивления  $M_c$  на валу электродвигателя оставалось постоянным.

Эта задача решается с помощью законов частотного регулирования М.П. Костенко, в которых напряжение  $U_1$  необходимо изменять относительно номинального значения  $U_n$  пропорционально произведению относительной частоты и квадратного корня из относительного момента:

$$\frac{U_1}{U_i} = \frac{f_1}{f_i} \sqrt{\frac{M_c}{M_i}}, \quad (2)$$

где  $f_n$  – номинальное значение частоты питающего напряжения;  $M_n$  – номинальное значение момента сопротивления.

Из общей формы записи (2) выводятся частные случаи законов частотного регулирования для различных видов нагрузки. Так, при активной нагрузке и реактивной нагрузке типа «идеальное сухое трение» закон частотного управления принимает наиболее распространенную форму  $U_1 / f_1 = \text{const}$  (рис. 1, а), а при реактивной нагрузке типа «вентиляторная характеристика» – форму  $U_1 / f_1^2 = \text{const}$  (рис. 1, б).

Законы частотного регулирования сформулированы, пренебре-

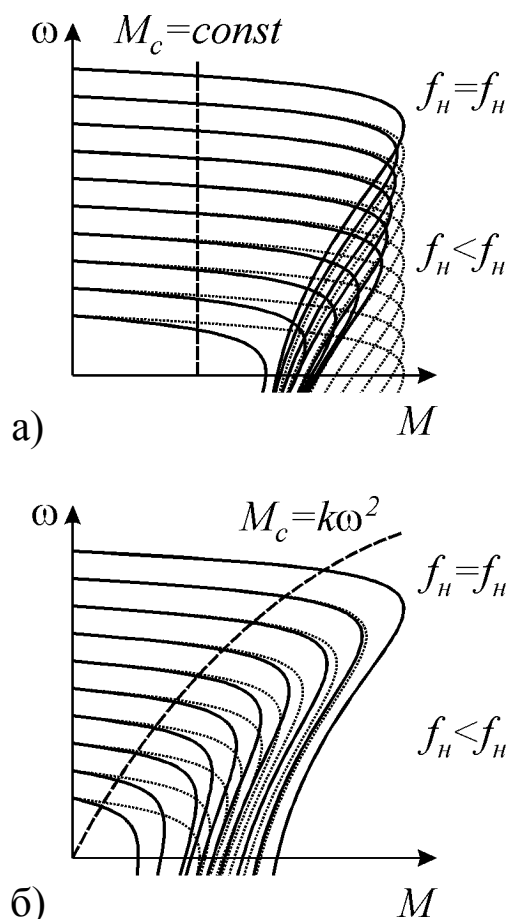


Рис.1. Механические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода:

а) закон  $U_1 / f_1 = \text{const}$ ;

б) закон  $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

гая падением напряжения на активных сопротивлениях цепи статора. В связи с этим, при снижении угловой скорости перегрузочная способность электродвигателя уменьшается, однако в пределах диапазона регулирования, свойственного управлению по разомкнутой схеме, падение перегрузочной способности можно считать незначительным.

## 2. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

### 2.1. Состав стенда

Стенд состоит из трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором АИР56А2У3, преобразователя частоты SINAMICS G110 с установленной на нем базовой панелью оператора и пульта дистанционного управления (рис. 2).

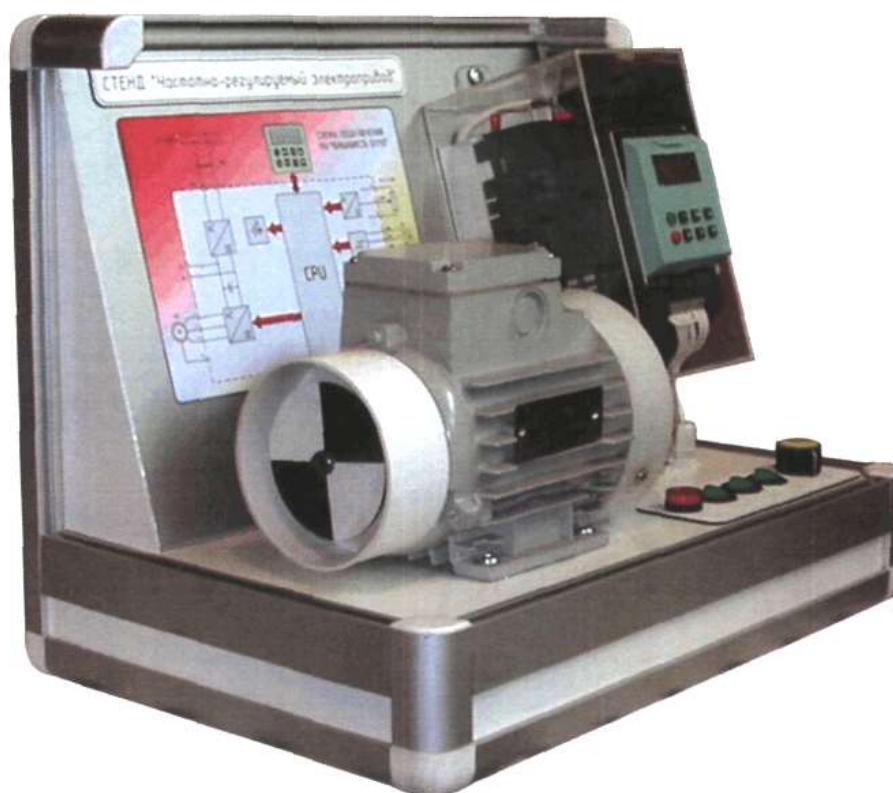


Рис. 2. Внешний вид стенда

На пульте дистанционного управления (рис. 3) установлены:  
– переменный резистор R1, задающий частоту;

- переключатели SA1, SA2 и SA3 для ввода управляющих команд;
- светодиодный индикатор, контролирующий режимы работы электропривода.

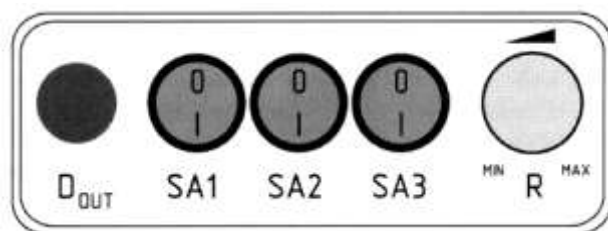


Рис. 3. Пульт дистанционного управления

На задней стенке стенда расположены сетевой выключатель «СЕТЬ» и разъем для подсоединения шнура питания. В корпусе разъема под защитной крышкой установлен предохранитель.

Функциональная схема стенда приведена на рис. 4. Преобразователь частоты регулирует угловую скорость вращения трехфазного асинхронного двигателя *M1* и управляет режимами его работы.

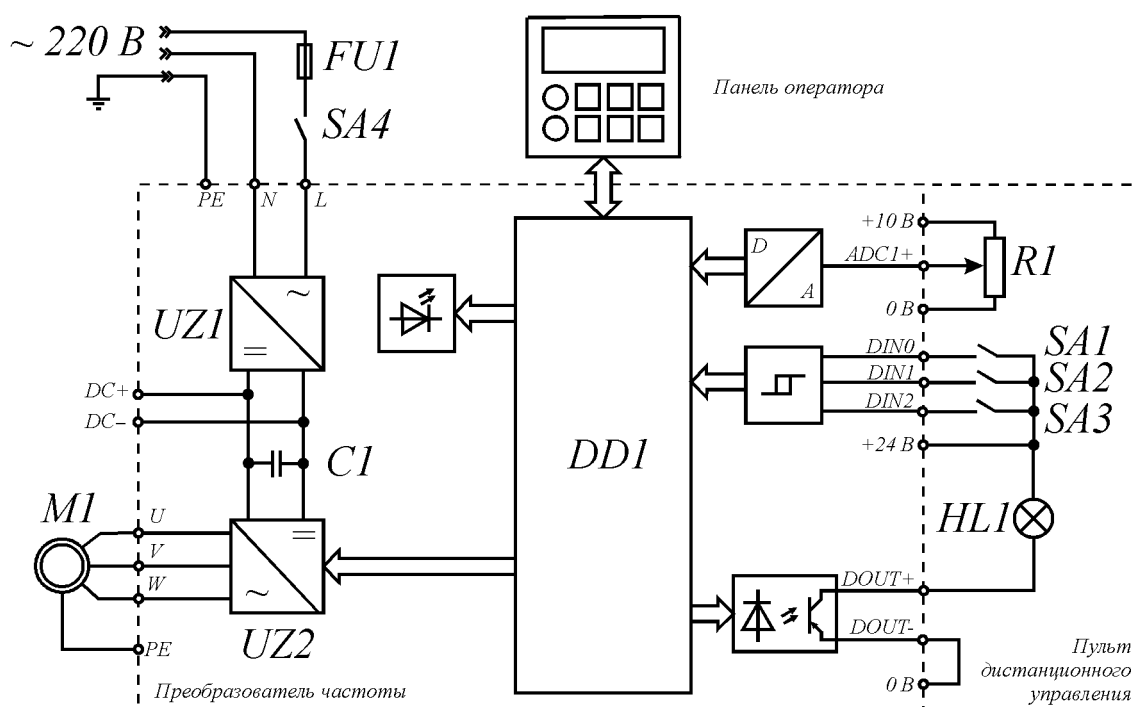


Рис. 4. Функциональная схема стенда

В преобразователе частоты напряжение сети сначала выпрямляется нерегулируемым диодным выпрямителем  $UZ1$ , а затем инвертируется в переменное напряжение необходимой частоты автономным инвертором напряжения  $UZ2$ . В результате происходит двухступенчатое преобразование энергии по схеме переменный ток – постоянный ток – переменный ток.

В автономном инверторе осуществляется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), в результате которой выполняются функции регулирования напряжения и частоты. Микропроцессор  $DD1$  управляет работой инвертора напряжения.

Инвертор напряжения может передавать мощность в обоих направлениях, а нерегулируемый выпрямитель такой возможностью не обладает. Поэтому с использованием такого преобразователя частоты тормозной режим работы электропривода с возвратом энергии в сеть невозможен. Энергию торможения рассеивают с целью ее утилизации на специальном тормозном резисторе, который подключается к клеммам преобразователя  $DC+$  и  $DC-$ . При переходе АД в режим торможения возникает дополнительный заряд конденсатора  $C1$ , играющего роль фильтра на выходе выпрямителя, и увеличение напряжения на нем. Когда напряжение на конденсаторе достигнет определенного, большего, чем в двигательном режиме, значения тормозной резистор подключается параллельно конденсатору (эти цепи управления на рис. 4 не показаны).

Микропроцессор  $DD1$  преобразователя частоты в соответствии с заданными параметрами:

- формирует сигналы управления режимами работы электропривода;
- формирует сигналы управления ШИМ для автономного инвертора напряжения  $UZ2$ ;
- формирует сигналы защиты и аварийного отключения электропривода;
- управляет приемом и передачей внешних управляющих, задающих и информационных сигналов.

Регулировать частоту и подавать на ПЧ дискретные управляющие команды, такие как «ПУСК», «СТОП», «РЕВЕРС» и др. можно тремя способами: с помощью дистанционного управле-

ния, местного управления и через последовательный канал связи (RS 485).

Универсальный вход преобразователя  $ADC1+$  имеет разные варианты использования. Для дистанционного управления частотой к нему подключают переменный резистор  $R1$  пульта управления. Аналоговый сигнал от 0 до 10 В с резистора  $R1$ , задающий частоту, поступает на аналогово-цифровой преобразователь  $A/D$ .

Для дистанционного ввода управляющих команд преобразователь имеет три дискретных входа  $DIN0$ ,  $DIN1$  и  $DIN2$ . Управляющие команды подаются кнопками  $SA1$ ,  $SA2$  и  $SA3$  пульта управления.

Местное управление электроприводом осуществляется кнопками съемной панели оператора, которая позволяет также выполнять настройку ПЧ и отображать значения его параметров на цифровом дисплее.

Универсальный вход преобразователя может быть подключен к последовательному каналу связи (RS485) для управления электроприводом с персонального компьютера и интеграции его в систему управления.

На дискретном выходе преобразователя частоты  $DOUT+$ ,  $DOUT-$  формируются сигналы о режиме работы электропривода, сигналы защиты и аварийного отключения, которые можно использовать для управления вспомогательным оборудованием.

Предохранитель FU1 служит для защиты электропривода от коротких замыканий и перегрузки по току.

## 2.2. Преобразователь частоты SINAMICS G110

Преобразователь частоты предназначен для регулирования угловой скорости трехфазного асинхронного двигателя и управления режимами его работы. Основными функциями преобразователя SINAMICS G110 являются:

- 1) регулирование выходной частоты ПЧ от 0 до 650 Гц;
- 2) выбор различных законов частотного регулирования:
  - линейная зависимость  $U_1 / f_1 = const$ ;
  - квадратичная зависимость  $U_1 / f_1^2 = const$ ;
  - программируемая зависимость;



- 3) выбор способа выключения электродвигателя:
  - остановка с выбранным пользователем замедлением;
  - свободный выбег до остановки;
  - динамическое торможение постоянным током без использования внешнего тормозного резистора;
  - смешанное торможение с наложением составляющей постоянного тока на переменный ток;
- 4) возможность настройки кривой разгона и торможения;
- 5) автоматическая защита при возникновении:
  - пониженного напряжения;
  - перенапряжения;
  - замыкания на землю;
  - короткого замыкания;
  - блокировки двигателя;
  - перегрузки двигателя;
  - перегрева преобразователя;
  - перегрева двигателя;
- 6) выбор источника задания частоты:
  - по умолчанию напряжение на аналоговом входе *ADC1+*, изменяющееся в диапазоне от 0 до 10 В и вызывающее изменение выходной частоты от 0 до 50 Гц;
  - кнопки панели оператора;
- 7) выбор источника команд управления:
  - по умолчанию дискретные входы преобразователя:
    - DIN0* для включения и отключения;
    - DIN1* для реверса;
    - DIN2* для сброса сообщений об аварийном режиме с дисплея панели оператора;
  - кнопки панели оператора.

Преобразователь частоты SINAMICS G110 можно использовать для различных применений, поэтому перед началом эксплуатации электропривода необходимо его настроить. Операцию настройки ПЧ называют также параметрированием, так как для настройки используется система его параметров.

Параметры – это данные, которые хранятся в энергонезависимой памяти ПЧ и сохраняются после отключения питания. Для отличия параметров друг от друга каждый из них имеет свой но-

мер. Все параметры можно разделить на две группы – устанавливаемые и контролируемые.

Контролируемые параметры имеют индекс «r» и могут только наблюдаться пользователем на дисплее панели оператора. Их значение пользователю изменить невозможно. Например, контролируемый параметр r0021 имеет номер 21, а его значение показывает текущую частоту выходного напряжения преобразователя.

Устанавливаемые параметры имеют индекс «P» и их значение может изменяться пользователем. Например, устанавливаемый параметр P0304 имеет номер 304. Этот параметр позволяет ввести в ПЧ значение номинального напряжения подключенного к преобразователю АД.

Общее количество параметров преобразователя частоты SINAMICS G110 очень велико, что делает параметрирование трудоемким и требует высокой квалификации обслуживающего персонала. Для облегчения обслуживания и уменьшения вероятности ошибочных действий оператора программное обеспечение ПЧ предоставляет возможность использовать фильтры параметров.

Фильтры параметров позволяют делать доступными для просмотра и редактирования только необходимую часть параметров. В SINAMICS G110 предусмотрены фильтры по уровню доступа к параметрам, по назначению и по режиму ввода в эксплуатацию. При работе одновременно могут быть выбрано несколько фильтров. Структура параметров ПЧ приведена на рис. 5.

За фильтрацию по уровню доступа отвечает параметр P0003. Каждый уровень доступа рассчитан на соответствующую квалификацию работника, выполняющего установку параметров электропривода.

При P0003=1 устанавливается стандартный набор параметров, предназначенный для изменения заводской настройки электропривода на месте установки. Этот набор параметров позволяет настроить работу привода в технологическом процессе, обеспечить его связь с внешними системами управления.

При P0003=2 устанавливается расширенный набор параметров, который позволяет изменять функции входов/выходов ПЧ, производить выбор вида закона регулирования. В набор парамет-

ров второго уровня доступа входят также все параметры первого уровня доступа.

При  $R0003=3$  устанавливается экспертный набор параметров, который позволяет пользователю изменять все настройки ПЧ, влияющие на работу электропривода в технологическом процессе, осуществлять точную настройку, производить диагностику работы привода и его внутренних контуров регулирования. В набор параметров третьего уровня доступа входят также все параметры первого и второго уровней доступа.

Значению  $R0003=4$  соответствует сервисный набор параметров. Этим набором параметров пользуются при диагностировании работы системы управления приводом для определения неисправностей и перенастройки привода на специальные задачи. Обычному пользователю этот набор недоступен.



Рис. 5. Структура параметров преобразователя частоты SINAMICS G110

За фильтрацию параметров по назначению отвечает параметр P0004. Он предоставляет доступ к параметрам в соответствии с их назначением, как показано на рис. 5. Количество параметров, которые появляются в пределах каждой функциональной группы, выбираемой в параметре P0004, зависит от установки уровня доступа в параметре P0003. При значении P0004=0 фильтр по назначению не действует и доступны все параметры преобразователя, соответствующие установленному уровню доступа в параметре P0003.

За фильтрацию по режиму ввода в эксплуатацию отвечает параметр P0010. При значении P0010=30 включается режим «Сброс на заводские установки», в котором все параметры ПЧ автоматически сбрасываются на заводские значения по умолчанию.

Если параметр P0010=1, то ПЧ переходит в режим «Быстрый ввод в эксплуатацию», в котором нужно указывать параметры электродвигателя, если они не соответствуют стандартным заводским настройкам. Также в этом режиме можно установить источники команд управления и задания частоты, диапазон регулирования частоты и интенсивность разгона и замедления.

При значении P0010=0 ПЧ переводится в режим «Готовность к работе», в котором можно выполнять настройку преобразователя, управлять работой электропривода, просматривать и редактировать все параметры кроме параметров электродвигателя.

Каждый параметр SINAMICS G110 имеет свой статус. Статус параметра обозначает режим ПЧ, в котором может быть изменено значение устанавливаемого параметра:

С – параметры могут вводиться перед началом эксплуатации в режиме «Сброс на заводские установки»;

Q – параметры могут вводиться в режиме «Быстрый ввод в эксплуатацию»;

T – параметры могут вводиться в режиме «Готовность к работе» при выключенном электродвигателе;

U – параметры могут вводиться при работающем электродвигателе.

Параметры могут иметь несколько статусов, в этом случае их значения могут быть изменены в каждом из указанных режи-

мов. Если сделана попытка изменения параметра, который не может быть изменен в текущем режиме, например, не может быть изменен, пока электродвигатель работает, то на дисплее панели оператора будет отображаться «EEEEЕ».

### 2.3. Базовая панель оператора

Панель оператора используется для наладки, оперативных изменений настроек, сигнализации и диагностики электропривода, а также для управления электродвигателем. Внешний вид панели оператора приведен на рис. 6.

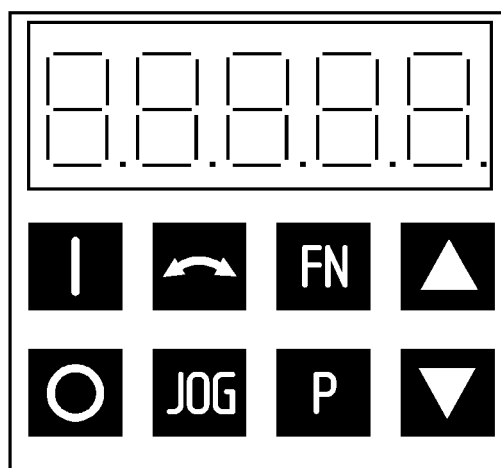


Рис. 6. Базовая панель оператора

Дисплей служит для индикации параметров ПЧ и их значений. Он может находиться в одном из трех состояний:

- исходное состояние, в котором дисплей оказывается сразу после включения ПЧ в сеть;
- отображение номера параметров;
- отображение значения параметров.

В исходном состоянии на дисплее попеременно отображаются мигающее значение заданной частоты и значение параметра, заданного в параметре P0005 (по умолчанию это – выходная частота).

Кнопки «P», «FN», «▲», «▼» используются для настройки преобразователя. Кнопки «0», «1», «↔», «JOG», «FN», «▲», «▼» используются для управления электродвигателем, если источни-

ком команд управления и задания частоты является панель оператора. Функции и назначение кнопок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кнопка	Функция	Назначение
1	Пуск двигателя	Команда «ВКЛ» – на электродвигатель подается регулируемое по величине и частоте напряжение, двигатель запускается
0	Стоп двигателя	При однократном кратковременном нажатии кнопки – «ВЫКЛ1» – ПЧ останавливает электродвигатель с выбранным пользователем замедлением
		При двойном нажатии или длительном удержании кнопки – «ВЫКЛ2» – происходит свободный выбег до остановки
↔	Реверс	Команда «РЕВЕРС» – на дисплее обратное направление вращения отображается знаком минус или мигающей десятичной точкой
JOG	Толчковый режим	Пуск с заданной частотой – при остановленном электродвигателе происходит пуск электродвигателя с заданной jog-частотой, после отпускания кнопки ПЧ останавливает двигатель
		При работающем электроприводе нажатие кнопки не приводит ни к каким действиям
P	Доступ к параметрам	Изменяет состояние дисплея – выводит на дисплей либо значение параметра, либо его номер
FN	Функции	Используется для быстрого просмотра контролируемых параметров, быстрого доступа к параметру, быстрого изменения значения устанавливаемого параметра и для сброса возникающих ошибок
▲	Увеличить	Увеличивает номер параметра, значение параметра или частоту вращения электродвигателя

Кнопка	Функция	Назначение
▼	Уменьшить	Уменьшает номер параметра, значение параметра или частоту вращения электродвигателя.

Если кнопки «▲» или «▼» нажимать кратковременно, то изменение значений будет происходить по шагам. Если удерживать эти кнопки более 2 секунд, то значения будут изменяться автоматически в быстром темпе до отпускания кнопки.

Длительное нажатие кнопки «FN» (около 2 секунд) переводит дисплей в режим быстрого просмотра значений следующих параметров:

- выходное напряжение звена постоянного тока, обозначается буквой «d», единица измерения вольт – V;
- выходная частота, единица измерения герц – Hz;
- выходное напряжение, обозначается буквой «o», единица измерения вольт – V;
- значение параметра, заданного в параметре P0005.

Циклическое переключение между этими параметрами производится кратковременными нажатиями кнопки «FN». Повторное длительное нажатие кнопки «FN» возвращает дисплей из режима быстрого просмотра.

Если на дисплее отображается параметр r0000, то кратковременное нажатие кнопки «FN» переключает дисплей на последний отображавшийся параметр. Из любого параметра кратковременное нажатие кнопки «FN» переключает дисплей обратно на r0000.

Для упрощения ввода изменений в значения устанавливаемого параметра кнопка «FN» осуществляет переход между разрядами числа.

### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

#### 3.1. Техника безопасности

Стенд является электроустановкой, отдельные элементы которой находятся под опасным напряжением, поэтому при нару-

шении установленных правил, она может стать источником поражения человека электрическим током и других видов травм, таких как механические удары вращающимися частями электрической машины.

Необходимо помнить, что вращающиеся части, хотя и имеют защитные устройства, все же не исключают «захвата» одежды или механического удара. Поэтому при работе со стендом необходимо соблюдать осторожность и правила техники безопасности:

1) студент, находясь в лаборатории должен быть предельно дисциплинированным и внимательным, беспрекословно выполнять все указания преподавателя;

2) запрещается:

- подходить к другим стендам, установкам, распределительным щитам и пультам и делать на них какие-либо включения или переключения;
- включать стенд в сеть, если кто-нибудь касается его неизолированной токоведущей части;
- производить в стенде какие-либо присоединения, если он находится под напряжением;
- во время работы электрической машины касаться вращающихся частей или наклоняться к ним близко;
- оставлять без наблюдения стенд или отдельные его приборы под напряжением;

3) одежда не должна иметь свободно свисающих элементов (шарфов, галстуков), а прическа должны исключать возможность «свисания» прядей волос;

4) перед включением питания стенда все аппараты должны быть закрыты защитными оболочками, а там, где это предусмотрено, защитные оболочки должны быть закреплены винтами;

5) включать питание стенда можно только после разрешения преподавателя, а выполнение работ при включенном питании стенда производить только в присутствии преподавателя или другого квалифицированного работника учебного заведения, ведущего занятие;

6) обо всех замеченных случаях неисправности в работе установок и нарушении правил техники безопасности студент должен немедленно доложить преподавателю;



7) если произошел несчастный случай, стенд следует немедленно отключить, оказать пострадавшему первую помощь, одновременно сообщив об этом преподавателю.

Внимание! Даже если преобразователь не работает, следующие клеммы находятся под опасными напряжениями:

- клеммы источника питания  $L1$  и  $L2/N$ ;
- клеммы двигателя  $U$ ,  $V$ ,  $W$ ,  $DC+$  и  $DC-$ .

Во избежание перегрева электродвигателя длительность режима работы электропривода с частотой менее 5 Гц не должна превышать 1 мин.

Пренебрежение к данным предупреждениям или неподчинение правилам техники безопасности может вызвать опасность для жизни, тяжелое телесное повреждение или принести серьезный материальный ущерб.

### 3.2. Порядок выполнения работы

Выполнение лабораторной работы предусматривает включение, настройку и исследование преобразователя частоты, для чего необходимо провести следующую последовательность действий.

#### **Шаг 1. Освоение принципов работы с параметрами ПЧ**

Для работы с параметрами ПЧ необходимо подключить стенд к сети электропитания, включить электропривод выключателем «СЕТЬ», расположенным на задней стенке стенда. При этом включится светодиодный индикатор  $D_{OUT}$  дистанционной панели управления, а дисплей панели оператора перейдет в исходное состояние (ИС).

Чтобы выполнить просмотр и редактирование параметра следует воспользоваться порядком действий, показанным в табл. 2. Для примера, попробуйте изменить значение параметра P0305 – номинальный ток двигателя. Проверьте значение параметра P0010 – режим ввода в эксплуатацию.

#### **Шаг 2. Сброс параметров ПЧ**

Для сброса всех параметров ПЧ на значения по умолчанию необходимо перевести ПЧ в режим ввода в эксплуатацию «Сброс на заводские установки».

Таблица 2

№ п/п	Кнопка	На дисплее	Пояснения
1	P	r0000	Переход в режим отображения номеров параметров
2	▲ ▼	P0003 ... P3900	Перелистывание номеров параметров. Завершите перелистывание, когда отобразится нужный номер параметра
3	P	0,01	Отображение текущего значения параметра. В данном примере 0,01
4	FN	0,0 <sup>1</sup> 0, <sup>0</sup> 1 <sup>0</sup> ,01	Переход между разрядами значения параметра. Изменению подвергается только значение выделенного в данный момент разряда
5	▲ ▼	1,90	Изменение значения выделенного разряда параметра
6	P	P1234	Возврат к отображению номеров параметров. Параметр P1234 – для примера
7	FN	r0000	Возврат к началу параметров
8	P	ИС	Возврат к исходному состоянию

Для этого параметру P0010 необходимо задать значение 30, а параметру P0970 – значение 1. При этом все параметры переустанавливаются на заводские значения, а значения параметров P0010 и P0970 автоматически устанавливаются равными нулю и преобразователь переходит в режим «Готовность к работе».

### Шаг 3. Быстрый ввод электропривода в эксплуатацию

Прежде, чем начинать работу с ПЧ, необходимо указать параметры электродвигателя, для чего следует воспользоваться порядком действий, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Значение параметра	Пояснения
1	P0003=1	Установка первого уровня доступа к параметрам

<b>№ п/п</b>	<b>Значение параметра</b>	<b>Пояснения</b>
2	P0010=1	Установка режима «Быстрый ввод в эксплуатацию»
3	P0100=0	Выбор единицы измерения мощности киловатт. Установка частоты сети 50 Гц
4	P0304*	Установка номинального напряжения электродвигателя в вольтах
5	P0305*	Установка номинального тока электродвигателя в амперах
6	P0307*	Установка номинальной мощности электродвигателя в киловаттах
7	P0310*	Установка номинальной частоты электродвигателя в герцах
8	P0311*	Установка номинальной скорости электродвигателя в оборотах в минуту
9	P0700=2	В качестве источников команд управления выбираются кнопки пульта дистанционного управления
10	P1000=2	В качестве источника задания частоты выбирается потенциометр пульта дистанционного управления
11	P1080=0	Задается минимальная частота электродвигателя, равная 0 Гц
12	P1082=50,00	Задается максимальная частота электродвигателя, равная 50 Гц
13	P1120=10,00	Задается время разгона, равное 10 с
14	P1121=10,00	Задается время замедления, равное 10 с
15	P3900=1	Происходит переход преобразователя из режима «Быстрый ввод в эксплуатацию» в режим «Готовность к работе». При этом параметр P0010 автоматически устанавливается в нуль, все параметры ПЧ, не используемые в режиме «Быстрый ввод в эксплуатацию», переустанавливаются на заводские значения

\* Номинальные значения параметров электродвигателя указаны на его шильдике

При выборе в качестве источников команд управления кнопок пульта дистанционного управления, то заводские установки определяют их функции следующим образом. Переключатель *SA1*, подключенный к дискретному входу преобразователя *DIN0* выполняет функции «ВКЛ / ВЫКЛ1», переключатель *SA2*, подключенный к дискретному входу преобразователя *DIN1* – функцию «РЕВЕРС», а переключатель *SA3*, подключенный к дискретному входу преобразователя *DIN2* служит для подтверждения сбоя при возникновении аварии.

#### **Шаг 4. Пуск электропривода с управлением от пульта дистанционного управления**

По окончании ввода в эксплуатацию преобразователь устанавливается в исходном состоянии и можно начинать работу с электроприводом. Перед началом работы следует установить заданную частоту равной 50 Гц, для чего служит потенциометр *R1*.

Для запуска электродвигателя необходимо включить переключатель *SA1*. При пуске нужно определить время разгона электродвигателя до заданной частоты и убедиться, что оно равно времени, заданному в параметре *P1120*.

Если регулировать потенциометром *R1* величину заданной частоты, то электродвигатель будет разгоняться до меньшей угловой скорости, что можно пронаблюдать визуально. По показаниям панели оператора нужно определить минимальную и максимальную частоту ПЧ и убедиться, что они соответствуют значениям, заданным в параметрах *P1080* и *P1082*. Также необходимо определить время разгона электродвигателя при заданной частоте меньше 50 Гц и сравнить со значением параметра *P1120*.

Для выполнения реверсирования служит переключатель *SA2*. При наблюдении за процессом реверсирования следует определить время останова и время разгона в противоположном направлении. Прделанную операцию повторить, изменив время разгона и время замедления в параметрах *P1120* и *P1121*.

По окончании опытов нужно выключить переключатель *SA1* пульта управления для останова электродвигателя.

#### **Шаг 5. Пуск электропривода с управлением от панели оператора**

Для переключения на управление от панели оператора нужно изменить источник команд управления, записав *P0700=1*, и

источника задания частоты, указав  $P1000=1$ . После этого можно включить переключатель  $SA1$  или регулировать потенциометр  $R1$  пульта дистанционного управления и убедиться, что преобразователь не принимает от него управляющие команды.

Для запуска электродвигателя в этом режиме нужно нажать кнопку «1» панели оператора, регулирование его угловой скорости производится кнопками «▲», «▼», а реверсирование – кнопкой «↔». С помощью этих кнопок нужно повторить опыты, описанные в шаге 4, а по окончании опытов выключить электродвигатель кнопкой «0».

### **Шаг 6. Исследование линейного закона частотного регулирования**

Для исследования линейного закона частотного регулирования  $U_1 / f_1 = \text{const}$  необходимо предварительно настроить ПЧ в соответствии с порядком действий, приведенным в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Значение параметра	Пояснения
1	$P0003=2$	Установка второго уровня доступа
2	$P0005=21$	Установка значения текущей частоты для отображения на дисплее в ИС
3	$P0010=0$	Установка режима «Готовность к работе»
4	$P0700=1$	В качестве источников команд управления выбирается панель оператора
5	$P1000=1$	В качестве источника задания частоты выбирается панель оператора
6	$P1080=0,0$	Установка минимальной частоты 0 Гц
7	$P1082=50,00$	Установка максимальной частоты 50 Гц
8	$P1300=0$	Установка линейного закона частотного регулирования
9	$P1310=0$	Отказ от завышенного напряжения при низких частотах
10	$P1312=0$	Отказ от завышенного пускового напряжения

При настройке используются параметры  $P1310$  и  $P1312$ . Первый из них устанавливает уровень завышения напряжения на

низких частотах в процентах от напряжения при номинальном токе электродвигателя. Это применяется для увеличения критического момента и жесткости механических характеристик при низких угловых скоростях АД.

Второй параметр задает увеличение напряжения на электродвигателе при пуске, что используется для увеличения пускового момента при запуске исполнительных механизмов с большим моментом инерции. Для исследования закона  $U_1 / f_1 = \text{const}$  эти параметры должны быть равными нулю.

После настройки ПЧ следует снять зависимость выходного напряжения от частоты, пользуясь порядком действий, приведенных в табл. 5. Результаты измерений заносить в табл. 7.

Таблица 5

№ п/п	Кнопка	Пояснения
1	1	Запуск электродвигателя. Дисплей отображает текущее значение частоты
2	▲ ▼	Установка необходимой частоты
3	Длительное нажатие FN	Дисплей переходит в режим быстрого просмотра параметров
4	FN	Переключение между выходной частотой, напряжением звена постоянного тока «d» и выходным напряжением «o»
5	Длительное нажатие FN	Дисплей переходит из режима быстрого просмотра параметров в ИС

### **Шаг 7. Исследование квадратичного закона частотного регулирования**

Для исследования закона  $U_1 / f_1^2 = \text{const}$  необходимо параметру P1300 установить значение 2, после чего убедиться, что P1310=0. Затем следует аналогично шагу 6 заполнить табл. 7.

### **Шаг 8. Освоение принципов программирования закона частотного регулирования**

Для программирования кривой закона частотного управления необходим третий уровень доступа. Кривая программируется

по трем точкам, как это показано на рис. 7, между которыми производится линейная интерполяция.

Настройку преобразователя частоты для исследования программируемого закона частотного регулирования следует производить в соответствии с порядком действий, приведенных в табл. 6. После выполнения настройки заполнить табл. 7.

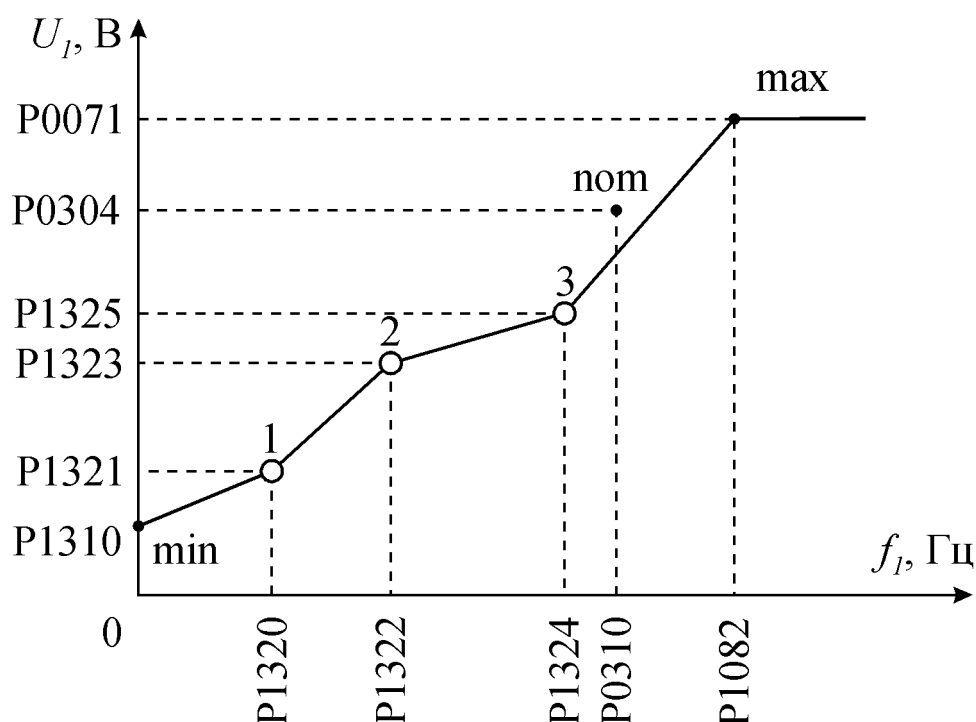


Рис. 7. Программируемый закон частотного управления

Таблица 6

№ п/п	Значение параметра	Пояснения
11	P0003=3	Установка третьего уровня доступа
12	P0005=21	Установка значения текущей частоты для отображения на дисплее в ИС
13	P0010=0	Установка режима «Готовность к работе»
14	P0700=1	В качестве источников команд управления выбирается панель оператора
15	P1000=1	В качестве источника задания частоты выбирается панель оператора
16	P1080=0,0	Установка минимальной частоты 0 Гц
17	P1082=50,00	Установка максимальной частоты 50 Гц

№ п/п	Значение параметра	Пояснения
18	P1300=3	Установка программируемого закона частотного регулирования
19	P1310=0	Отказ от завышенного напряжения при низких частотах
20	P1320=20	Установка частоты в точке 1
21	P1321=50	Установка напряжения в точке 1
22	P1322=30	Установка частоты в точке 2
23	P1323=120	Установка напряжения в точке 2
24	P1324=40	Установка частоты в точке 3
25	P1325=180	Установка напряжения в точке 3

По окончании проведения опытов верните параметру P1300 значение 0, нажмите кнопку «0» панели оператора для останова электродвигателя и выключателем «СЕТЬ», расположенным на задней стенке стенда, обесточьте его.

### 3.3. Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать наименование и цель работы, функциональную схему стенда, заполненную табл. 7 и выводы после проведения каждого шага выполнения работы.

Таблица 7

Закон частотного регулирования	Выходная частота, Гц									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Линейный										
Квадратичный										
Программируемый										

Отчет оформляется индивидуально в тетрадях или на листах формата А4. К защите принимаются только отчеты, оформленные вручную. Допускается функциональную схему стенда вклеивать в отчет.

Защита отчета включает в себя устный опрос студента. При опросе преподаватель вправе задать любой вопрос, касающийся



материала лабораторной работы, при этом знание ответов на приведенные контрольные вопросы является обязательным.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип скалярного частотного регулирования?
2. Что такое закон частотного регулирования? Какие законы вы знаете?
3. В чем достоинства и недостатки законов частотного регулирования Костенко?
4. Зачем в частотно-регулируемом электроприводе нужен автономный инвертор напряжения?
5. Что такое параметрирование преобразователя частоты?
6. Какие группы параметров по назначению заложены в преобразователь частоты SINAMICS G110?
7. Можно ли изменить параметр P0311 номинальная угловая скорость двигателя, если параметр режима ввода в эксплуатацию P0010=0?
8. Какая минимальная группа допуска к параметрам преобразователя частоты SINAMICS G110 требуется для переключения между линейным и квадратичным законами частотного регулирования?
9. Зачем применяется завышение напряжения на выходе ПЧ при малой угловой скорости двигателя?
10. Каким образом выполняется программирование закона частотного регулирования в SINAMICS G110?

#### 5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. вузов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва: Академия, 2005. – 304 с.
2. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

3. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для вузов. – Москва: Академия, 2006. – 272 с.

4. Фащенко, В. Н. Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства. Часть 1. Автоматизированный электропривод механизмов циклического действия: учебное пособие / А. В. Ляхомский, В. Н. Фащенко. – Москва: Горная книга, 2014. – 447 с.