# МИНОБРНАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Тульский Государственный университет» Институт высокоточных систем им. В. П. Грязева

# КАФЕДРА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Электрический привод» на тему

«Проектирование электропривода подъема заслонки печи»

Студент: Баринов С.В.

Группа: Б161201.

Вариант: 3

Руководитель: Дубальский В. Е. Дата

Тула 2023 год

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» Институт высокоточных систем им.

В.П. Грязева

Кафедра «Электротехника и электрооборудование»

# ЗАДАНИЕ

на курсовой проект

Студенту Нестерову Анатолию Николаевичу

(фамилия, имя, отчество)

Учебная группа Б161292. Вариант 9

1. Тема проекта: Проектирование электропривода подъема заслонки печи
2. Срок представления работы к защите
3. Исходные данные для проектирования: двигатель 2ПН180L, Кинематическая схема механизма загрузочного устройства
4. Содержание КП (пояснительной записки и графической части): расшифровка и расчет ДПТ, расчет и построение статической хар-ки, проверка двигателя по нагреву, расчет и построение мех. хар-ки, расчет доп. резисторов, расчет и построение графика переходного процесса, разработка системы управления электродвигателем.
5. Перечень графического материала: Лист А3 2 шт.

Руководитель КП Дубальский В.Е.

(фамилия. инициалы) (подпись)

Задание получил Нестеров А.Н.

(подпись)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | ВВЕДЕНИЕ 4   1. РАСЧЕТ МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ   ОРГАНЕ 5   1. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ 9 2. ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ 10 3. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ   ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ 12   1. РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИСТОРОВ 15 2. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ПЕРЕХОДНОГО   ПРОЦЕССА ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ В ДВЕ СТУПЕНИ 18   1. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 22   ЗАКЛЮЧЕНИЕ  СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | | | | | | | | | | |
| *Подп. и дата* |  |
| *Взам.* |  |
| *Инв. №* |  |
| *Подп. и дата* |  |
|  |  |  |  |  |  | | | | | |
|  |  |  |  |  |
| *Изм.* | *Лис* | *№ докум.* | *Подп.* | *Да* |
| *Инв. №* |  | *Разраб* | | *Нестеров* |  |  |  | *Лит* | | | *Лист* | *Листов* |
| *Пров.* | | *Дубальский* |  |  |  | *у* |  | *3* | *31* |
| *Т.* | |  |  |  | *ТулГУ , ст. гр. Б161292.* | | | | |
| *Н.* | |  |  |  |
| *Утв.* | |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ВВЕДЕНИЕ**  В техническом преобразовании отраслей народного хозяйства ведущая роль принадлежит электрическим средствам автоматизации и механизации производственных процессов. Важнейшим средством электрификации, механизации и автоматизации, основой увеличения производительности машинного оборудования и масштабов производства является современный электропривод, на долю которого приходится до 60% общего потребления электроэнергии в стране.  Широкое распространение двигателей постоянного тока несмотря на их более высокую стоимость и сложность эксплуатации по сравнению с асинхронными двигателями объясняется в первую очередь простыми и надежными способами регулирования частоты вращения, большими пусковыми моментами и перегрузочной способностью, чем у двигателей переменного тока. Наибольшее распространение двигатели постоянного тока получили в приводах, требующих глубокого регулирования частоты вращения (металлургическая промышленность, транспорт и т.п.).  Объектом расчета в данной курсовой работе является механизм подъема двигатель постоянного тока 2ПН180L, являющийся электромеханическим преобразователем, предназначенным для работы в широкорегулируемых электроприводах общепромышленного назначения, а также других агрегатов. | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 1 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1 РАСЧЕТ МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНОМ**  **ОРГАНЕ**   * 1. **Исходные данные**   Двигателем на курсовой проект является 2ПН180L.   * + 1. Расшифровка:   2П – серия двигателя  Н — защищенное с самовентиляцией 180 – высота оси вращения, мм.  L-условное обозначение длины сердечника якоря (большая) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Рном, кВт | | КПД  % | 𝑈ном  В | | 𝑅я,  Ом | | 𝐽дв, кг   * м2 | | 𝑛 max, об/мин | 𝐼н,  А | 𝑛 ном, об/мин | 𝑅в,  Ом | 𝐼в,  А | 𝑅д,  Ом | |
| 10 | | 82.5 | 220 | | 0,042 | | 0,23 | | 3500 | 55,09 | 1000 | 72,5 | 1,64 | 0,03 | |
| Таблица 1 - Исходные данные  1.2 Расчет номинального момента на валу двигателя  Расчетная формула номинального момента:  9550 ∙ Рном  Мном = 𝑛 ; (1)  ном  где Рном номинальная мощность двигателя, кВт;  𝑛ном скорость вращения об/мин.  9550 ∙ 10  Мном = 1000 = 95,5 кН ∙ м | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | |  |  | |  | |  | | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | | | | | | | *Лист* |
|  | |  |  | |  | |  | | 2 |
| *Изм.* | | *Лист* | *№ Документа* | | *Подпись* | | *Дата* | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1.3 Расчет угловой скорости вала двигателя для номинального режима на основе паспортных данных**  Расчетная формула угловой скорости вала двигателя для номинального режима на основе паспортных данных:  𝑛ном ∙ 𝜋  𝜔ном = 30 ; (2)  1000 ∙ 3,14  𝜔ном = 30 = 104,7 рад/с    Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма загрузочного  устройства | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 3 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| * 1. **Расчет номинального момента на исполнительном органе**   Расчет коэффициента передачи момента через редуктор:  𝑍𝑖  А𝑖 = 𝜂𝑖 ∙ 𝑍 (3)  𝑗  где 𝜂1коэффициент полезного действия;  𝑍𝑖количество зубьев ведомой шестерни;  𝑍𝑗 количество зубьев ведущей шестерни.  𝑍2 10  А1 = 𝜂1 ∙ 𝑍 ; А1 = 0,79 ∙ 6 = 0,98  1  Момент на исполнительном органе:  Ми.о. = Мном ∙ А1;  Ми.о. = 95,5 ∙ 0,98 = 93,6 кН ∙ м   * 1. Расчет линейной скорости на исполнительном органе   Расчет коэффициента передачи угловой скорости через редуктор на намоточный барабан загрузочного устройства:  𝑍𝑗  В𝑖 = 𝜂𝑖 ∙ 𝑍 (4)  𝑖  где 𝜂1коэффициент полезного действия;  𝑍𝑖количество зубьев ведомой шестерни; | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 4 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

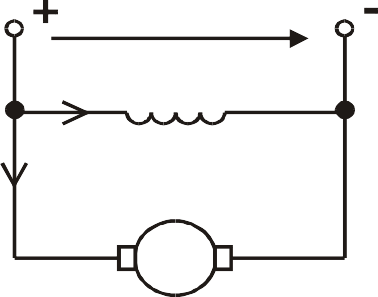
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 𝑍𝑗 количество зубьев ведущей шестерни.  𝑍1 6  В1 = 𝜂1 ∙ 𝑍 ; В1 = 0,79 ∙ 10 = 0,47  2  Угловая скорость на намоточном барабане:  𝜔бар. = 𝜔ном ∙ В1  𝜔бар. = 78,5 ∙ 0,47 = 36,9 рад/с  Линейная скорость на исполнительном органе:  𝜂п 0,98  𝑣и.о. = 𝜔бар. ∙ 𝑖 = 36,9 ∙ 2 = 0,49 (5)  п  где 𝑖п индекс передачи;  𝜂п коэффициент полезного действия передачи.  𝑣и.о. = 0,49 м/с | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 5 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **2 РАСЧЕТ И ПОСТРОНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**  На основе исходных данных табл. 2 осуществим расчёт статической нагрузки на выходном валу двигателя.  Таблица 2 – Исходные данные | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 𝑀1  𝑀ном | | | 𝑀2  𝑀ном | 𝑀3  𝑀ном | | 𝑀4  𝑀ном | | | 𝑀5  𝑀ном | 𝑡1, с | 𝑡2, с | 𝑡3, с | 𝑡4, с | 𝑡5, с | 𝑡6, с | |  |
| 1,2 | | | 0,2 | 1,1 | | 0,6 | | | 0,2 | 200 | 40 | 60 | 120 | 20 | 160 | |
| Учитывая, что 𝑀ном = 95,5 кН ∙ м, получаем:  𝑀1 = 1,2 ∙ 𝑀ном = 1,2 ∙ 95,5 = 114,6 кН ∙ м  𝑀2 = 0,3 ∙ 𝑀ном = 0,2 ∙ 95,5= 19,1 кН ∙ м  𝑀3 = 1,0 ∙ 𝑀ном = 1,1 ∙ 95,5 = 105,05 кН ∙ м  𝑀4 = 0,8 ∙ 𝑀ном = 0,6 ∙ 95,5 = 57,3 кН ∙ м  𝑀5 = 0,0 ∙ 𝑀ном = 0,2 ∙ 95,5 = 19,1кН ∙ м  Рисунок 2 – График статической нагрузки | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | |  |  | | |  | |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | | | | | | | | *Лист* | |
|  | |  |  | | |  | |  | 6 | |
| *Изм.* | | *Лист* | *№ Документа* | | | *Подпись* | | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **3 ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ**  Исходя из условий работы двигателя с точки зрения постоянства скорости, магнитного потока, постоянных потерь мощности и наличия нагрузочной диаграммы 𝑀𝑐 = 𝑓(𝑡), для проверки двигателя по нагреву  используем метод эквивалентного момента.   * 1. Расчет времени цикла   𝑡цикл = 𝑡1 + 𝑡2 + 𝑡3 + 𝑡4 + 𝑡5 + 𝑡6  𝑡цикл = 200 + 40 + 60 + 120 + 20 + 160 = 600 𝑐   * 1. Расчет времени работы электропривода   𝑡раб = 𝑡1 + 𝑡2 + 𝑡3 + 𝑡4 + 𝑡5  𝑡раб = 200 + 40 + 60 + 120 + 20 = 440 𝑐   * 1. Расчет продолжительности включения   𝑡раб  ПВ = ∙ 100% (6)  𝑡цикл  440  ПВ = ∙ 100% = 73%  600   * 1. Расчет момента | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 7 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.5 Расчет эквивалентного момента  Так как 𝑀экв > 𝑀ном, то есть 123, > 95,5, то данный двигатель не проходит проверку по нагреву. | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 8 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **4 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ**  Для расчета характеристик ДПТ и исследования различных режимов его работы воспользуемся электрической схемой замещения, изображенной на рис. 3.  Uв=Uя iв, Lв, Rв  iя  M  LЯ.сум, RЯ.сум  Рисунок 3 – Схема замещения  Математическое описание ДПТ сводится к дифференциальным уравнениям, которые описывают двигатель в динамике.  𝜕𝑖в  𝑈в = 𝑖в𝑅в + 𝐿в ,  𝜕𝑡  𝜕𝑖я  𝑈я = 𝑖я𝑅я + 𝐿я + 𝑘Ф𝜔, (9)  𝜕𝑡  𝑀 = 𝑘Ф𝐼я,  { 𝐸 = 𝑘Ф𝜔  где 𝑘 – конструктивный коэффициент;  𝐿в– индуктивность обмотки возбуждения;  𝐿я – индуктивностьв цепи якоря;  𝑅я – суммарное сопротивление цепи якоря.  В установившемся режиме двигатель постоянного тока может быть описан следующей системой уравнений:  𝑈 = 𝐸я + 𝑅я𝐼я  { 𝐸я = 𝐶𝐸Ф𝜔 (10)  𝑀 = 𝐶𝑀𝐼яФ  где 𝑈 – питающее напряжение; | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 9 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |



|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 𝐸я– противоЭДС якоря;  𝑅я – сопротивление якорной цепи;  𝐼я – ток якоря;  *Ф* – магнитный поток ДПТ;  𝜔 – угловая скорость якоря;  𝐶𝐸 и 𝐶𝑀 – конструктивные коэффициенты соответственно по ЭДС и моменту.  Если в расчётах используется угловая скорость 𝜔 (рад/с), то 𝐶𝐸 = 𝐶𝑀 =  𝑘.  Подставляя, получаем формулу для электромеханической характеристики ДПТ:  𝑈 − 𝐼я𝑅я  𝜔(𝐼я) = 𝑘Ф (11)  Формула для механической характеристики ДПТ с заменой в нем тока на момент:  𝑈 𝑀 ∙ 𝑅я  𝜔(𝑀) = − (12)  𝑘Ф (𝑘Ф)2  В соответствии с электромеханической и механической характеристики ДПТ представляют собой линейные зависимости скорости от тока и момента, поэтому для их построения необходимо знать координаты всего 2- х точек: номинального режима и холостого хода.  Для номинального режима на основе паспортных данных двигателя имеем:  𝜋 ∙ 𝑛ном  𝜔ном = 30  3,14 ∙1000  𝜔ном = 30 = 104,6 рад⁄с  Ток якорной обмотки:  𝐼я = 𝐼н − 𝑖в  𝐼я = 55,09 − 3,43 = 51,66 | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 10 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 𝑈н − 𝐼я𝑅я  𝐶Ф =  𝜔ном  Для определения скорости холостого хода воспользуемся формулой:  На основе полученных данных строим график механической и электромеханической характеристик двигателя 2ПН180L: | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 11 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **5 РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИСТОРОВ**  Рассчитаем значения добавочных резисторов для осуществления пуска двигателя в 2 ступени.    Рисунок 5 – Пусковая диаграмма  Рассчитаем номинальное сопротивление обмотки якорной цепи:  𝑈н  𝑅я = 𝐼 ;  я  220  𝑅я = 39.59 = 5.5 Ом | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 12 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Для первой искусственной характеристики добавочный резистор равен:  𝑏𝑐  𝑅д1 = 𝑅я ∙ 𝑎𝑓 ;  𝑅д1 = 0,35 Ом  Для второй искусственной характеристики добавочный резистор равен:  𝑐𝑑  𝑅д2 = 𝑅я ∙ 𝑎𝑓 ;  𝑅д2 = 1.29 Ом  Режим динамического торможения (режим генератора независимо от сети) имеет место при отключении якорной цепи ДПТ от сети и закорачивании её на добавочный резистор. Ток в якоре протекает под действием ЭДС и совпадает с ней по направлению, а электрическая энергия, вырабатываемая за счёт механической энергии, поступающей с вала, рассеивается в виде тепла в резисторе.  Выбор резистора осуществим исходя из необходимости ограничения протекающего через него тока. Если ток не дожжен превышать значения 2,0 ∙ 𝐼ном, то сопротивление резистора равно  𝑈 𝑈  𝑅д.т. = 𝐼 − 𝑅я = 2,0 ∙ 𝐼 − 𝑅я (13)  мах ном  𝑅д.т. = 8.46 Ом  Мощность, на которую должен быть рассчитан этот резистор:  𝑃𝑅 = 𝐼2 ∙ 𝑅 (14)  д.т. 𝑚𝑎𝑥 д.т.  2  𝑃𝑅д.т. = 26.72 ∙ 0,00846 = 13.2 Вт | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 13 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рисунок 6 – Схема динамического торможения | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 14 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **6 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ В ДВЕ СТУПЕНИ**  Если осуществляется ступенчатый пуск двигателя, то для расчёта переходного процесса используются одни и те же уравнения, но с другими начальными условиями и электромеханической постоянной на разных ступенях пуска.  На практике окончанием переходного процесса считают момент, когда  𝜔𝑖 = 0,95 ∙ 𝜔уст, откуда следует, что время переходного процесса составляет  𝑡пп = 3𝑇𝑀.  Электромеханическая постоянная времени находится из выражения:  𝐽  𝑇𝑀𝑖 = 𝛽 : (15)  𝑖  где 𝐽 – момент инерции двигателя, кг ∙ м2;  𝑀𝑖 − 𝑀𝑖+1  𝛽𝑖 = 𝜔 − 𝜔 ; (16)  н𝑖+1 н𝑖  Аналитическое выражение для i-участка переходного процесса, соответствующего разгону двигателя:  − 𝑡  𝜔𝑖 = 𝜔уст𝑖 + ((𝜔нач𝑖 − 𝜔уст𝑖)𝑒 𝑇𝑀𝑖 ) ; (17)  Определим аналитическое выражение для участка переходного процесса по скорости, соответствующего разгону двигателя по 1-ой искусственной характеристике на рисунке 5 (обе ступени пускового резистора включены).  Общее уравнение имеет вид (для сокращения записи опустим зависимость от времени):  𝐽  𝑇𝑀1 = 𝛽  1  𝑀1 − 𝑀2  𝛽1 = 𝜔  н1 | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 15 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 28,05 − 10,2  𝛽1 = 65 = 0,27  0.229  𝑇𝑀1 = 0,27 = 0,84  На 1-ой искусственной характеристике половине номинального момента двигателя соответствует скорость 96 рад/с Тогда аналитическое выражение для участка переходного процесса, соответствующего разгону двигателя по 1-ой искусственной характеристике, имеет вид:  − 𝑡  𝜔1 = 𝜔уст1 (1 − 𝑒 𝑇𝑀1 ) ;  −0,275  𝜔1 = 96 (1 − 𝑒 0,25 ) = 96(1 − 0,33) = 64,32 рад/с  При достижении скорости 𝜔1 закорачивается пусковой резистор 𝑅д1 и двигатель переходит на 2-ую искусственную характеристику.  Определим время, через которое двигатель выходит на 2-ую искусственную характеристику:  𝑚  𝑀1 − 𝑀𝑐  𝑡пп = ∑ 𝑇𝑀𝑖𝑙𝑛 𝑀 − 𝑀 ; (18)  𝑖=1 2 𝑐  𝑀1 − 𝑀𝑐 80 − 20  𝑙𝑛 = 𝑙𝑛 = 𝑙𝑛3 = 1,096;  𝑀2 − 𝑀𝑐 40 − 20  𝑡пп1 = 𝑇𝑀1 ∙ 1,096 = 0,2 ∙ 1,096 = 0,263 𝑐  Через 0,263 секунд после пуска двигатель переходит на 2-ую искусственную характеристику.  Аналитическое выражение для участка переходного процесса, соответствующего разгону двигателя по 2-ой искусственной характеристике: | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 16 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| − 𝑡  𝜔2 = 𝜔уст2 + ((𝜔нач2 − 𝜔уст2)𝑒 𝑇𝑀2 )  Находим электромеханическую постоянную времени.  Общее уравнение имеет вид (для сокращения записи опустим зависимость от времени):  80 − 40  𝛽2 = 75 − 110 = 1,14  0,15  𝑇𝑀2 = 1,14 = 0,13  На 2-ой искусственной характеристике половине номинального момента двигателя соответствует скорость 115 рад/с.  𝑡пп2 = 𝑇𝑀2 ∙ 1,096 = 0,13 ∙ 1,096 = 0,14 𝑐  −−0,14  𝜔2 = 115 + ((75 − 115)𝑒 0,13 ) = 101,8 рад/с  Через 0,403 секунды после пуска двигатель переходит на естественную характеристику.  При достижении скорости 𝜔2 закорачивается пусковой резистор 𝑅д2 и двигатель переходит на естественную характеристику.  Аналитическое выражение для участка переходного процесса, соответствующего разгону двигателя по естественной характеристике:  − 𝑡  𝜔3 = 𝜔уст3 + ((𝜔нач3 − 𝜔уст3)𝑒 𝑇𝑀3 )  Находим электромеханическую постоянную времени.  Общее уравнение имеет вид (для сокращения записи опустим зависимость от времени):  80 − 40  𝛽3 = 110 − 120 = 4  0,125  𝑇𝑀3 = 1,88 = 0,066 | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 17 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| На естественной характеристике половине номинального момента двигателя соответствует скорость 121 рад/с.  При достижении скорости 𝜔3 двигатель переходит на естественную характеристику.  Определим время, через которое двигатель выходит на естественную характеристику:  𝑡пп3 = 𝑇𝑀3 ∙ 1,0986 = 0,037 ∙ 1,096 = 0,04 𝑐  − 0,04  𝜔3 = 125 + ((110 − 125)𝑒 0,037) = 120 рад/с  Через 0,443 секунды после пуска двигатель переходит на естественную характеристику.  Аналогично определим аналитическое выражение для переходного процесса по моменту.  − 𝑡  𝑀𝑖 = 𝑀𝑐 + ((𝑀1 − 𝑀𝑐)𝑒 𝑇𝑀𝑖 )  Момент на 1-ой искусственной характеристике равен:  𝑀1 = 20 + (60 − 32,5) ∙ 𝑒−1,1 = 29,4 кН ∙ м  Момент на 2-ой искусственной характеристике равен:  𝑀2 = 20 + (60 − 27,5) ∙ 𝑒−1,1 = 30,7 кН ∙ м  Момент на естественной характеристике равен:  𝑀2 = 20 + (60 − 20) ∙ 𝑒−1,1 = 39,8 кН ∙ м  Графики переходных процессов по скорости и моменту показаны на  рисунке 7 | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 18 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рисунок 7 – График переходных процессов  **7 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**  Система управления двигателем должна обеспечить пуск в две ступени по времени, динамическое торможение по времени и реверс. Кроме того, схема должна предусматривать защиту от аварийных режимов и сигнализацию. | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 19 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Рисунок 8 – Схема управления электропривода | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 20 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| * 1. **Описание работы схемы управлении двигателем.**   Пуск ДПТ условно в прямом направлении осуществляется нажатием кнопки SB1, которая подает напряжение на контактор КМ1, имеющий: 5 замыкающих контактов и 2 размыкающих.  При этом контакты контактора КМ1 осуществляют следующие действия:   * + - закорачивает кнопку SB1, чтобы ее можно было отпустить.     - разрывает ветвь подачи напряжения на контакторы пуска КМ2     - контактом КМ1 подает напряжение на реле времени КТ2.     - контактом КМ1разомкнет ветвь контактора динамического торможения КМ3   В результате двигатель начинает разгон с добавочным сопротивлением в цепи якоря равным R1+R2. Далее напряжение подается на реле времени KT2, и с выдержкой времени замыкается контакт KT2 и подает напряжение на контактор KM4. Контакт KM4 замыкается, и отключает резистор R1 из якорной цепи, и выводит двигатель на вторую искусственную характеристику. Так же при замыкании контактаKM4 напряжение подается на реле времени KT3. Далее с выдержкой времени контакт KT3 замыкается и подает напряжение на контактор KM5. Контакт KM5 замыкается, и отключает резистор R2 из якорной цепи, и выводит двигатель на естественную характеристику.  Остановка ДПТ осуществляется нажатием кнопки SB3, которая снимает напряжение с контакторов пуска КМ1, КМ2 и подает напряжение на контактор KM3.При замыкании контакта KM3, он подключит резистор к якорю и начнется динамическое торможение. Так же контакт KM3 подает напряжение на реле времени KT1. С выдержкой времени контакт KT1 разрывает цепь и контакты контактора KM3 отключается. | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 21 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пуск ДПТ в другую сторону (реверс) осуществляется нажатием кнопки SB2, после чего подается напряжение на контактор КМ2. При этом контакты контактора КМ2 осуществляют следующие действия:   * закорачивает кнопку SB2, чтобы ее можно было отпустить. * разрывает ветвь подачи напряжения на контакторы пуска КМ1 * контактом КМ2 подает напряжение на реле времени КТ2. * контактом КМ2 разомкнет ветвь контактора динамического торможения КМ3   Далее пуск двигателя произойдет аналогично пуску “Вперед”.  В схеме предусмотрена световая сигнализация лампами зеленого цвета: HL1 – подача напряжения на силовую часть схемы;  HL2 – подача напряжения на схему управления.  Схема обеспечивает защиту от перегрузок силовой цепи и управления с помощью автоматических выключателей QF1, QF2 . Кроме того, организована нулевая защита, т.е. не произойдет включения ДПТ при возобновлении питания. Это видно из рисунка схемы управления, на которой все элементы изображены при отсутствии напряжения (цепь якоря разорвана).   * 1. **Выбор элементов для схемы управления**   Произведем выбор элементов силовой цепи и цепи управления электродвигателем. При этом учитываем, что двигатель и цепь управления питается от сети постоянного напряжения величиной 220 В.   * + 1. **Выбор кнопок управления** | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 22 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |

Пуск двигателя "вперед", "назад" и динамическое торможение осуществляются нажатием на кнопки управления SB1, SB2 и SB3 соответственно.

Основные параметры кнопок управления SB1(КЕ011-1), SB2(КЕ011-1) и SB3(КЕ012-7) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры кнопок

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Номинальное напряжение, в | Номинальный ток продолжительного режима, а |  | Управляющее устройство (привод) | | | Количест во контактн ых цепей | | | Износоустойчивость  механическая, млн. сраб. | Присоединение приводов |  | Номер | |  |
|  |  | Исполнение |  |  |  |  |  |  |  |
| Серия | Тип |  | цвет толка теля или плаф она | надпис ь на толкат еле |  | замыкающих | размыкающих | Вес, кг | коммутационной  рисспуонскоабнообсщтеиго | вида | монтажной схемы |
|  |  | вид | общее |  |
|  |  | До –220, до  500 |  | 1 | самовозвратом, воздействующий на  контактные цепи нажатием | черн ый | «пуск» | |  |  |  |  |  |  | |  |
| КЕ | КЕ011 | 6,3 |  |  |  | 2 | 2 | - | 5 | Заднее | 0,1  97 | 57 | 501 | 5  2 |
|  |  |  | 1 | черн ый | «Пуск» | |  |  |  |  |  |  |  |  |

Управляющее устройство (привод)

Серия

Тип

напряжение, в ток

продолжитель Исполнение

ивость механическая,

е приводов Вес, кг

Количе ство контакт ных цепей

Номер

*Лист*

ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ

*Изм. Лист*

*№ Документа*

*Подпись Дата*

23

# КЕ КЕ012

500

6,3

с самовозвратом, воздействующи й на контактные

цвет толка теля или

плафо на

Красн ый

7

вид

*Лист*

ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ

24

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Изм. Лист*

общее

надпис ь на

толкате ле

«Стоп»

3

размыкающих замыкающие

1

2

Заднее

5

коммутационной способности вида

0,19

7

50

1

57

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| * + 1. **Выбор сопротивлений пусковых ступеней и динамического торможения двигателя**   Для первой пусковой ступени 𝑅1 выбираем ящик резисторов типа ЯС-3 140518. Сопротивление составит 2,8 (Ом) с отклонением от расчетного на 2%, мощностью до 5,8 кВт, длительно допустимый ток 27,5 (А), массой 27,3 кг.  Для второй пусковой ступени 𝑅2 выбираем ящик резисторов типа ЯС-3 140524. Сопротивление составит 0,698 (Ом) с отклонением от расчетного на 1 %, мощностью до 5,8 кВт, длительно допустимый ток 35,6 (А), массой 23,5 кг.  Для динамического торможения выбираем 𝑅дт выбираем ящик резисторов типа ЯС-3 140514. Сопротивление составит 5,76 (Ом), мощностью до 11 кВт, длительно допустимый ток 27,5 (А), массой 34,3 кг.   * + 1. **Выбор реле времени**   В качестве реле времени выбираем из таблицы тип РСВ-01-1  Реле выполнено с использованием современной микроэлектронной базы. Элементы схемы установлены на печатных платах, которые размещены внутри корпуса, состоящего из основания и съемного прозрачного кожуха.  Таблица 4 – Характеристика реле времени | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Серия | | Тип | | Характерист ика | | | Номина льные данные катушки | ток | Количество контактов | Выдержка времени, сек. |  | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  | |  | |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | | | | | | *Лист* |
|  |  | |  | |  | |  | 25 |
| *Изм.* | *Лист* | | *№ Документа* | | *Подпись* | | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | |  | |  | |  | | | Uн, в | Рн, вт |  | замык ающи х (з.) | размы кающ их (р.) | при отключ е-нии катушк и | при  закора- чивани и катушк и |  | |
| РСВ | | РСВ-01- 1 | | Статическое реле времени | | | 220 | 25 | 2,5 | 1 | 1 | 0,0625-  7,5 | 0,0625-  7,5 |
| * + 1. **Выбор контакторов**   Для контакторов КМ4, КМ5 выбираем тип контактора ПМЛ-2111 с параметрами 𝑰ном = 𝟑𝟐 А, 𝑼ном = 𝟐𝟐𝟎 В.  Для контактора КМ3 выбираем тип контактора ПМЛ-3111 с номинальными данными 𝑰ном = 𝟓𝟎А, 𝑼ном = 𝟐𝟐𝟎 В.  Для контакторов КМ1, КМ2 выбираем тип контактора ПМЛ-2111 с параметрами Iном = 32А, Uном = 220 В. Соединяем параллельно по 2 контактора ПМЛ-2111, т.к. у данного типа контактора недостаточно контактов.   * + 1. **Выбор автоматических выключателей**   Для защиты силовой части схемы от аварийных режимов – тока короткого замыкания и длительной перегрузки по току – в соответствии с рекомендациями используем кнопочные автоматические выключатели с тепловым расцепителем. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  | |  | |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | | | | | | | | | *Лист* |
|  |  | |  | |  | |  | 26 |
| *Изм.* | *Лист* | | *№ Документа* | | *Подпись* | | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток вставки теплового расцепителя определяется по формуле:  𝐼м ≤ 1,25 ∙ 𝐼ном  𝐼м = 1,25 ∙ 18 = 22,45 А  Для схемы управления выбираем ВА57-31 с номинальным током 22,5 (А), номинальным напряжением 220 В и количеством полюсов 2.  **7.2.6. Выбор сигнальной аппаратуры**  Выбираем сигнальную аппаратуру АСЛ предназначенную для световой сигнализации работы оборудования в электрических цепях напряжением 220-380 В переменного тока и напряжением 220 В постоянного тока. Цвет свечения зеленый. Мощность 0,3 Вт.  Таблица 5 - Спецификация | | | | | | | | | | | |  |
|  | Условное обозначение | | | Наименование | | | | Тип изделия | Ед. изм. | Кол-во | |  |
| HL1-2 | | | Арматура сигнальная | | | | АСЛ | шт | 2 | |  |
| KM4-5 | | | Пускатель электромагнитный | | | | ПМЛ-2111 | шт | 2 | |  |
| KM3 | | | Пускатель электромагнитный | | | | ПМЛ-3111 | шт | 1 | |  |
| KM1-2 | | | Пускатель электромагнитный | | | | ПМЛ-2111 | шт | 4 | |  |
| KT1-3 | | | Реле времени | | | | РСВ-01-1 | шт | 3 | |  |
| R1-2 | | | Блок сопротивлений | | | | ЯС-3 УЗ | шт | 2 | |  |
| R3 | | | Блок сопротивлений | | | | ЯС-3 УЗ | шт | 1 | |  |
| SB1-2 | | | Выключатель кнопочный | | | | КЕ-011-1 | шт | 2 | |  |
| SB3 | | | Выключатель пакетный | | | | КЕ-012-7 | шт | 1 | |  |
| QF | | | Автоматический выключатель | | | | ВА57-31 | шт | 4 | |  |
|  | | | | | | | | | | | |  |
|  | |  |  | |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | | | | *Лист* |
|  | |  |  | |  |  | 27 |
| *Изм.* | | *Лист* | *№ Документа* | | *Подпись* | *Дата* |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  В ходе данной работы был проанализирован электропривод механизма подъема заслонки печи. По заданному графику нагрузки на валу двигателя мы определили статическую нагрузку на валу двигателя. Выяснилось, что она соответствует повторно-кратковременному режиму работы.  Исходя из условий работы двигателя с точки зрения постоянства скорости, магнитного потока, постоянных потерь мощности и наличия  нагрузочной диаграммы *МС*  *f* *t* , для проверки двигателя по нагреву  используем метод эквивалентного момента. Она показала, что нагрев не превышает допустимого.  Для облегчения пускового режима двигателя предусмотрен пуск в 2 ступени. Пусковые резисторы определялись методом отрезков. Кроме того, был рассчитан переходный процесс для этого режима и построены графики изменения момента и скорости в зависимости от времени  Исходя из предельно допустимого тока якоря ( 2,5  *Iном* ), было определено сопротивление резистора динамического торможения.  На заключительной стадии была разработана схема релейно- контакторного управления двигателем, которая обеспечивает пуск в две ступени по току, динамическое торможение по времени и реверс. Кроме того, схема предусматривает защиту от аварийных режимов и сигнализацию. Необходимые для реализации системы управления элементы автоматики приводятся в перечне элементов. | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ЭТЭО.13.03.02.08ПЗ | *Лист* |
|  |  |  |  |  | 29 |
| *Изм.* | *Лист* | *№ Документа* | *Подпись* | *Дата* |