## Введение

Подъёмные машины прерывистого режима работы в различных конструктивных исполнениях находят широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. К числу наиболее распространённых разновидностей механизмов вертикального транспорта относятся лифты, применение которых в городском хозяйстве и на промышленных предприятиях приобретает всё большее значение.

Лифты являются механизмами вертикального транспорта, предназначенными для транспортировки пассажиров и грузов в жилых, производственных и административных зданиях. Эти установки выполняются с высокой степенью автоматизации. Они отличаются общедоступностью пользования, комфортабельностью и безусловной безопасностью. Все основные операции при открывании и закрывании дверей, передвижении, замедлении и точной остановке кабины лифта осуществляются с помощью электропривода. Причём необходимо установить такую систему электропривода, которая выполняла те высокие требования, которым должны отвечать современные лифты.

Таким образом, в данном курсовом проекте необходимо разработать электропривод лифта с учётом обеспечения всех требований согласно заданию.

**1. Анализ и описание системы «электропривод – рабочая машина»**

**1.1 Количественная оценка вектора состояния или тахограммы требуемого процесса движения**

Электропривод лифта получает питание от трёхфазной сети переменного тока c частотой 50 Гц и напряжением 380 В.

Работа лифта заключается в том, чтобы доставить груз на требуемую высоту или спустить груз вниз. Однако, во время вызова лифта на этаж, он движется без груза. Это движение лифт с порожней кабиной может быть как вверх, так и вниз. Таким образом, получаем четыре режима работы лифт:

– подъём кабины с грузом;

– подъём кабины без груза;

– спуск кабины с грузом;

– спуск кабины без груза.

На выходе вала двигателя установлен червячный редуктор, являющийся самотормозящей парой. Поэтому в независимости от направления движения лифта, двигатель будет работать только в двигательном режиме, и статические характеристики привода будут находиться в первом и третьем квадрантах. Кабина лифта имеет противовес, равный массе кабины лифта и половине номинального груза.

Цикл работы лифта состоит из следующих этапов:

– разгон привода до рабочей скорости;

– работа на установившейся рабочей скорости;

– торможение до пониженной скорости;

– работа с пониженной скоростью;

– торможение до нулевой скорости (дотяжка).

За цикл работы, по которому производится выбор двигателя, принимается самый тяжёлый режим работы, т.е. перемещение кабины между двумя этажами с максимальным статическим моментом. Время паузы будем рассчитывать исходя из времени открытия-закрытия дверей и времени входа-выхода пассажиров.

Учитывая выше описанный технологический режим работы лифта, сформулируем требования, которые должен обеспечивать электропривод лифта:

– электропривод лифта должен обеспечивать пониженную скорость, которая рассчитывается исходя из заданной точности останова, чем определяется диапазон регулирования скорости лифта;

– электропривод лифта должен обеспечивать максимальное быстродействие (минимальное время разгона и торможения), что необходимо для обеспечения высокой производительности работы лифта;

– электропривод лифта должен обеспечивать ограничения ускорения и рывка, что связано с комфортабельностью пользования лифтом пассажиров;

– электропривод лифта должен обеспечивать при различных его загрузках одну и ту же рабочую скорость, что связано с производительностью лифта.

– электропривод лифта должен быть реверсивным.

Кроме того, к другим важным требованиям, которые предъявляются к электроприводу лифта, относятся высокая надёжность его работы, обеспечивающая точность реверсирования и связанную с этим чёткую работу аппаратуры управления. Также электропривод должен работать не превышая заданный уровень шума.

С учётом перечисленных выше требований, приходим к заключению, что для обеспечения этих требований необходимо строить замкнутую систему стабилизации скорости

Выбирая ту или иную систему электропривода, следует учитывать её экономичность, т.е. потери энергии за цикл, а также коэффициент мощности. Кроме того, необходимо учитывать и окупаемость тех затрат, которые связаны с созданием привода и его эксплуатацией.

Исходными данными являются:

– Vр = 1,5 м/с – скорость перемещения кабины;

– Н = 45 м – максимальная высота подъёма;

– N = 12 – максимальное количество остановок;

– М = 20 мм – точность остановок;

– Gг = 10 кН – вес груза;

– Gк = 19 кН – вес кабины;

– К1 = 0,85 – коэффициент загрузки лифта;

– К2 = 4 – число несущих канатов;

– КПД = 80% – КПД системы;

– i = 21,2 – передаточное число редуктора;

– R = 0,56 м – радиус несущего канатного шкива;

– С = 2,13 ∙ 106 Н∙м – жёсткость одного метра каната;

– Jпр вращ = 0,25 ∙ Jдв – приведенный момент инерции вращающихся частей.

Электропривод должен обеспечивать кроме нормальной работы режим наладки при скорости 25% от номинальной. Зададимся допустимыми ускорениями и рывком: адоп = 2 м/с; сдоп = 5 м/с.

Определим время разгона до рабочей скорости:

tp = Vр / адоп = 1,5 / 2 = 0,75 с (1.1)

Путь, проходимый за время tp:

Lp = адоп ∙ tp2 / 2 = 2∙0,752 / 2 = 0,56 м (1.2)

Определим пониженную скорости для обеспечения точности останова:

Vп = √2 ∙ √ ∆L ∙ адоп = √2 ∙ √ 2 ∙ 0,02 = 0,28 м/с (1.3)

Найдём время перехода привода с рабочей скорости на пониженную скорость:

tт1 = (Vр-Vп) / адоп = (1,5–0,28) / 2 = 0,61 с

Путь, проходимый за время tт1:

Lт1 = Vр∙ tт1 – адоп ∙ tт12 / 2 = 1,5∙0,61 – 2∙0,612 / 2 = 0,54 м (1.4)

Время перехода с пониженной скорости до полной остановки (механическое торможение):

tт2 = Vп / адоп = 0,28 / 2 = 0,14 с (1.5)

Расстояние, проходимое лифтом на пониженной скорости:

Lп = Vп ∙ tп = 0,28 ∙ 0,1 = 0,028 м (1.6)

Путь, проходимый лифтом между двумя соседними этажами, определим как:

L = H / N = 45 / 12 = 3,75 м

Примем L = 3,5 м.

Путь, проходимый лифтом за время разгона, перехода на пониженную скорость, работы на пониженной скорости и торможения до полной остановки:

L0 = Lр + Lт1 + Lп + Lт2 = 0,56 + 0,54 + 0,028 + 0,02 = 1,4 м (1.7)

Найдём путь, проходимый лифтом между двумя соседними этажами с установившейся рабочей скоростью:

Lраб = L – L0 = 3,5 – 1,4 = 2,1 м (1.8)

Время работы с установившейся рабочей скоростью:

tуст = Lраб / Vраб = 2,1 / 1,5 = 1,4 с (1.9)

Время остановки (паузы) будем рассчитывать исходя из времени открытия-закрытия дверей и времени входа-выхода пассажиров. Время открытия-закрытия дверей по 0,5 с. Вместимость кабины 4 пассажира. Время входа-выхода одного пассажира 0,5 с. Итого суммарное время паузы получим tост=5 с.

Время цикла найдём как:

Tц=tр + tуст +tт1 +tп +tт2 +tост =0,75+1,4+0,61+0,1+0,14+5=8 с (1.10)

Определим расчётную продолжительность включения:

ПВр=(tр +tуст +tт1 + tп + tт2)/Tц=(0,75+1,4+0,61+0,1+0,14)/8=0,375 (1.11)

Из выражения (1.11) следует, что режим работы лифта повторнократковременный. Значит, двигатель будем выбирать номинального режима S3.

**1.2 Количественная оценка моментов и сил сопротивления**

Нагрузка лифта является потенциальной.

Определим статические моменты для различных режимов работы лифта по общей формуле:

Мс1 пр = (Gк + К1∙Gг - Gпр)∙103∙R / (з∙i), (1.12)

где з – КПД червячного редуктора;

Gпр – вес потивовеса, кН.

Вес потивовеса определим как:

Gпр = Gк + 0,5∙ Gг = 19 + 0,5∙10 = 24 кН

1. Подъём кабины с грузом:

Мс1 пр= (Gк + К1∙Gг - Gпр)∙103∙R / (зпр ∙ i) = (19 + 0,85∙10 – 24)∙ 103∙ 0,56 / (21,2∙0,63) = 147 Н∙м

2. Подъём кабины без груза:

Мс2 пр = (-Gк + Gпр)∙103∙R / (зобр ∙ i) = (-19 + 24)∙ 103∙ 0,56 / (21,2∙0,45) = 293,5 Н∙м

3. Спуск кабины с грузом:

Мс3 пр =(Gк + К1∙Gг - Gпр)∙103∙R / (зобр ∙ i) = (19 + 0,85∙10 – 24)∙ 103∙ 0,56 / (21,2∙0,45)= 205 Н∙м

4. Спуск кабины без груза:

Мс4 пр = (-Gк + Gпр)∙103∙R / (зпр ∙ i) = (-19 + 24)∙ 103∙ 0,56 / (21,2∙0,63) = 210 Н∙м

Из приведенных расчётов видно, что самым большим моментом является Мс2 пр. Следовательно, самым тяжёлым режимом является подъём кабины без груза. По этому режиму и будем выбирать двигатель.

* 1. **Составление расчётной схемы механической части электропривода**

Для теоретического исследования реальную механическую часть электропривода заменяем динамически эквивалентной приведенной расчётной схемой, состоящей из сосредоточенных инерционных элементов, соединённых между собой упругими связями, и обладающей таким же энергетическим запасом, как и исходная реальная система привода. Параметрами эквивалентной приведенной расчётной схемы являются суммарные приведенные моменты инерции масс, образованные приведенными массами, связи между которыми приняты жёсткими, и эквивалентные приведенные жёсткости механических упругих связей.

Составляем кинематическую схему для случая, когда кабина лифта находится на первом этаже. Тогда получаем двухмассовую консервативную расчётную схему, одна масса который включает в себя кабину лифта с грузом или без груза, а другая всю остальную механическую часть (вместе с противовесом). Жёсткость определим как:

С12 = С / Н ∙ Rпр ∙ К2, (1.13)

где Rпр – радиус приведения, м.

Радиус приведения найдём по следующей формуле:

Rпр = R / i = 0,56 / 21,2 = 0,0264 м (1.14)

Тогда жёсткость:

С12 = С / Н ∙ Rпр ∙ К2 = 2,13 ∙ 106 / 45 ∙ 0,02642 ∙ 4 = 132 Н∙м

Определение приведенных параметров механической части к валу двигателя осуществляем по следующим выражениям.

Момент инерции первой массы:

J1 = Jдв + Jвр + Jпр, (1.15)

где Jдв – момент инерции двигателя, кг∙м2;

Jвр – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции вращающихся частей, кг∙м2;

Jпр – приведенный к валу двигателя момент инерции противовеса, кг∙м2.

Согласно заданию приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся частей составляет 25% от момента инерции двигателя, т.е. Jвр = 0,25∙ Jдв.

Момент инерции противовеса:

Jпр = mпр ∙ Rпр2 = Gпр ∙103/g ∙ Rпр2 = 24∙103 / 10 ∙ 0,02642 = 1,7 кг∙м2

Момент инерции второй массы:

J2 = mк ∙ Rпр2 = Gк ∙103/g ∙ Rпр2 = 19∙103 / 10 ∙ 0,02642 = 1,3 кг∙м2

Определим приведенные к валу двигателя значения точности останова, скоростей, ускорения, пути.

Точность останова:

∆ц = ∆S / Rпр = 0,02 / 0,0264 = 0,76 рад (1.16)

Рабочая скорость:

wр = Vр / Rпр = 1,5 / 0,0264 = 56,8 рад/с (1.17)

Пониженная скорость:

wп = Vп / Rпр = 0,28 / 0,0264 = 10,6 рад/с (1.18)

Допустимое ускорение:

едоп = адоп / Rпр = 2 / 0,0264 = 75,7 рад/с2 (1.19)

Угол поворота двигателя при перемещении кабины между двумя этажами:

ц = S / Rпр = 3,5 / 0,0264 = 132,6 рад (1.20)

**1.4 Построение нагрузочной диаграммы и механической характеристики рабочей машины**

Нагрузочная диаграмма механизма представляет собой зависимость приведенного к валу двигателя момента в функции времени за цикл работы.

Из приведенных выше анализа получено, что лифт может работать в четырёх режимах:

– подъём кабины с грузом;

– подъём кабины без груза;

– спуск кабины с грузом;

– спуск кабины без груза.

При этом самым тяжёлым является подъём кабины без груза. По этому режиму и будем выбирать двигатель.

Таким образом, нагрузка является активной и в процессе движения не изменяется (до следующей остановки). По этому описанию строим нагрузочные диаграммы для каждого из режимов.

Механическая характеристика рабочей машины есть зависимость статического момента от скорости рабочего вала. Так как на выходе вала двигателя установлен червячный редуктор, являющийся самотормозящей парой, то механические характеристики привода будут находиться в первом и третьем квадрантах.

Механическая характеристика лифта изображена в приложении Б.

**2. Анализ и описание системы «электропривод-сеть» и «электропривод-оператор»**

**2.1 Анализ и описание системы «электропривод – сеть»**

Анализ и описание системы «электропривод – сеть» необходимо проводить для оценки влияния параметров питающей сети на работу электропривода. Стандартами допускаются отклонения напряжения и частоты в заданных пределах, поэтому рассмотрим особенности каждой из систем, которые может быть выбраны в качестве наилучших.

Если в качестве наилучшего из вариантов будет выбран электропривод постоянного тока, то в этом случае важным вопросом является согласование выбора схемы выпрямления с требуемым значением выпрямленного напряжения. Кроме того, при выборе схемы выпрямления необходимо учитывать мощность электропривода, режимы его работы, а также предварительную стоимость. Для обеспечения высоких динамических показателей выпрямитель должен иметь достаточный запас по напряжению. Для согласования сети и выпрямителя устанавливаются токоограничивающие реакторы или согласующий трансформатор. В случае выбора двигателя с номинальным напряжением 440В устанавливаются реакторы. Если двигатель изготовлен на номинальное напряжение 220В, то во избежание работы выпрямителя в зарегулированном режиме, предпочтительнее использовать трансформатор. Если в результате проведения методом экспертных оценок будет выбран в качестве наилучшего варианта асинхронный привод (двигатель), то уменьшение напряжения сети вызовет резкое уменьшение момента критического (при снижении напряжения на 10% момент уменьшится на 19%). Это обстоятельство может привести к остановке двигателя, т.е. к не обеспечению требуемого технологического режима. При увеличении напряжения в сети механическая характеристика привода (двигателя) становится жёстче, вследствие чего при постоянном статическом моменте происходит увеличение скорости, что может противоречить требованиям, предъявляемым рабочим органом к проектируемому электроприводу. Изменение частоты напряжения в сети приводит в разомкнутых системах к изменению заданной скорости вращения, т.е. уменьшению точности системы, а также к нежелательному изменению других показателей регулирования.

**2.2 Анализ и описание системы «электропривод – оператор»**

Анализ и описание системы «электропривод – оператор» нужен для проектирования схемы управления с той или иной степенью, учёта требований охраны труда и техники безопасности и обеспечения качественного протекания технологических процессов.

Лифт относится к механизмам, работающим всё время в относительно тяжёлых динамических условиях, характеризующихся частыми пусками, остановами, изменениями направления скорости вращения со значительной статической нагрузкой на валу двигателя. В связи с этим требуется разработать схему управления, которая обеспечивала бы автоматический пуск и останов привода, перевод его на пониженную скорость для обеспечения точности останова.

Для выполнения этой задачи в схеме управления нужно использовать кнопки, контакторы, реле времени и путевые датчики. Кроме того, разработанная схема управления должна обеспечивать пассажирам и обслуживающему персоналу безопасную работу и хорошие условия при эксплуатации наладке лифта.

**3. Выбор принципиальных решений**

**3.1 Построение механической части привода**

Для упрощения механической части, уменьшения габаритов и потерь, а также осуществления благоприятного динамического режима, следует осуществлять передачу движения от двигателя к рабочему органу как можно более децентрализованным путём и без использования промежуточных звеньев в виде редукторов или других механизмов. Однако обеспечить лифту скорость 1,5 м/с представляет собой значительные трудности, т.к. для этого необходимо изготовить двигатель по спецзаказу. А это обойдётся значительно дороже. Вместе с тем повышение номинальной скорости вращения двигателей уменьшает их массу, габариты, себестоимость, что влияет на технико-экономические показатели лифта в целом.

Поэтому при эксплуатации для согласования скоростей двигателя и нагрузки используют червячный редуктор, являющийся самотормозящей парой. Кроме того, редуктор должен удовлетворять определённым требованиям в отношении габаритов, КПД, люфта, кинематической точности, инерционности, жёсткости и надёжности. Так как лифт является позиционным механизмом, то главным требованием к редуктору является кинематическая точность. Также для реверсивных передач величина бокового зазора должна быть минимальной.

**3.2 Выбор типа привода (двигателя) и способа регулирования координат**

Основой для выбора типа привода (двигателя) и способа регулирования координат являются требования, предъявляемые механической частью, обеспечиваемые технологические режимы, а также условия эксплуатации.

В данном случае необходимо производить регулирование скорости, которые состоит в переводе электропривода на пониженную скорость. Этим определяется диапазон регулирования:

wр 56,8

D = – = – = 5,34 (3.1)

wп 10,6

При этом следует учитывать энергетический аспект выбора способа регулирования скорости. Это значит, что минимальный габарит двигателя и его полное использование по нагреву имеет место тогда, когда способ регулирования скорости по показанию допустимой нагрузки соответствует зависимости нагрузки от скорости.

Так как механическая характеристика механизма является крановой нагрузкой, то целесообразно использовать способ регулирования скорости при постоянном моменте, т.е. регулирование с Мс = const. В случае применения такого способа двигателю обеспечивается наилучший тепловой режим.

Регулирование скорости при постоянном моменте обеспечивают следующие системы:

* двигатель постоянного тока с шунтированием якоря.
* двигатель постоянного тока с реостатным управлением;
* асинхронный двигатель с фазным ротором (АД с ФР);
* система генератор – двигатель (Г-Д);
* АД с переключением числа параметры полюсов и коробкой передач;
* асинхронный двигатель с частотным управлением (АИН-АД);
* двигатель постоянного тока с управляемым выпрямителем (УВ-ДПТ).

Системы «двигатель постоянного тока с реостатным управлением» и «двигатель постоянного тока с шунтированием якоря» являются наихудшими способами регулирования с точки зрения обеспечения наилучшего теплового режима. Это объясняется тем, что такой способ регулирования является параметрическим, а значит неполноценным. (не изменяется скорость холостого хода). Система генератор – двигатель является морально устаревшей.

В связи с этим в качестве рассматриваемых вариантов приводов оценим три оставшиеся системы.

**3.3 Оценка и сравнение выбранных вариантов**

Проделаем сравнительную оценку следующих систем:

* АД с переключением числа параметры полюсов и коробкой передач;
* асинхронный двигатель с частотным управлением (АИН-АД);
* двигатель постоянного тока с управляемым выпрямителем (УВ-ДПТ).

Из нескольких вариантов систем электропривода проведение строгих технико-экономических расчётов не представляется возможным из-за отсутствия требуемых исходных данных. Поэтому воспользуемся приблизительным «методом экспертных оценок». Сравнение предварительных результатов или вариантов решения производится относительно n характеристик системы, путём сравнения определённых значений соответствующих показателей качества qi. Показатели качества служат для количественной характеристики степени выполнения требований задания на проектирование электропривода, а также других требований рабочей машины. Показатели качества лежат в пределах от 1-цы до 5-ти. На основе этих показателей может быть охарактеризована степень выполнения каждого отдельного требования путём назначения соответствующей оценки.

Выбор варианта в качестве наилучшего зависит от того насколько равноправными являются характеристики системы, т.е. нужно оценить их значимость для выполнения необходимых требований, предъявляемых со стороны рабочего механизма. Для этого вводятся весовые коэффициенты лi, которые можно охарактеризовать следующим образом:

* 5 – i-я характеристика системы имеет определяющее значение для достижения поставленной цели;
* 4 – i-я характеристика системы имеет большое значение;
* 3 – i-я характеристика системы имеет достаточно важное значение;
* 2 – i-ю характеристику системы желательно учесть;
* 1 – i-я характеристика системы является несущественной для выполнения задачи.

Выбор наилучшего решения производится определением взвешенной суммы. Наилучший вариант имеет большую сумму:

S = ∑ лi∙qi (3.2)

Для системы АД с переключением числа параметры полюсов и коробкой передач взвешенная сумма:

S = 5∙2+5∙2+4∙3+5∙4+5∙2+5∙5+3∙4+4∙4+4∙5+5∙3+4∙5 = 170

Для системы АИН – АД взвешенная сумма:

S = 5∙5+5∙5+4∙3+5∙4+5∙5+5∙3+3∙2+4∙3+4∙5+5∙5+4∙4 = 201

Для системы УВ – ДПТ взвешенная сумма:

S = 5∙5+5∙5+4∙4+5∙5+5∙5+5∙4+3∙3+4∙4+4∙4+5∙5+4∙4 = 221

Система УВ – ДПТ имеет наибольшую взвешенную сумму. Таким образом, система УВ – ДПТ подлежит дальнейшему расчёту.

**4. Расчёт силового электропривода**

#### 4.1 Расчёт параметров и выбор двигателя

Расчёт мощности двигателя по нагреву сводится к определению наибольшей температуры перегрева его изоляции Тmax и сравнению её с допустимой Тдоп:

Тдоп >= Тmax (4.1)

Этот метод для практических расчётов либо затруднён из-за сложности построения кривой нагрева двигателя, либо вообще невозможен, что характерно для предварительного этапа выбора двигателя. Поэтому на практике применяют метод средних потерь, считая его относительно точным. Однако в данном случае по причине не знания токов, протекающих по якорной цепи двигателя, использовать этот метод не представляется возможным. В процессе работы постоянные потери двигателя изменяются только при переходе и работе на пониженной скорости. А так как работа на пониженной скорости происходит на малом временном интервале по сравнению с работой на рабочей скорости, то изменением постоянных потерь можно пренебречь. Сопротивления привода и обмотки возбуждения двигателя в течении цикла работы остаются неизменными. Поэтому, принимая во внимания выше принятые допущения, вместо метода средних потерь для оценки нагрева можно использовать метод эквивалентного тока.

Оба последних метода можно использовать для проверки двигателя по нагреву, но для предварительного выбора двигателя ими пользоваться нельзя. Поэтому для предварительного выбора двигателя применим метод эквивалентного момента. Общее выражение метода эквивалентного момента определяется как:

∑ Мi2 ∙ ti

Мн >= Мэ = ---------------------------- (4.2)

вп∙tп + вт∙tт + во∙tо + tр

Для обеспечения требуемого технологического режима лифта необходимо выбрать двигатель с достаточно большим пусковым моментом, частыми пусками и реверсами. Такие характеристики имеют двигатели краново-металлургической серии номинального режима S3.

Согласно методу экспертных оценок наилучшими технико-экономическими показателями обладает система УВ-ДПТ. Поэтому по заданным критериям будем выбирать двигатель серии Д. Двигатели этой серии имеют независимую вентиляцию, в связи с чем все коэффициенты ухудшения охлаждения будут иметь значение равное 1-це. Расчёт эквивалентного момента проводим для повторно-кратковременного режима работы.

В соответствие с тахограммой и нагрузочной диаграммой подставляем в выражение (4.2) статических нагрузок и соответствующие им промежутки времени, а также приняв в равным 1-це, получим:

Мс22∙ (tр + tуст + tт1 + tп + tт2)

Мэ= ------------------------------------ (4.3)

Тц - tост

Определим эквивалентную мощность:

Рэ = k ∙ Мэ ст ∙ wн дв, (4.5)

где wн дв – номинальная скорость двигателя, рад/с.

Рэ = k ∙ Мэ ст ∙ wн дв = 1,1 ∙ 285 ∙ 68 = 21318 Вт (4.6)

Выбираем двигатель из условия:

Рн дв >= Рэ =21318 Вт (4.7)

Двигатель, выбранный по условию (4.7), приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические данные выбранного двигателя

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Тип*  *Двигателя* | *Рн,*  *кВт* | *Iн,*  *А* | *n*  *об/мин* | *Мmax*  *Н∙м* | *Uн*  *В* | *J*  *кг∙м2* |
| Д806 | 22 | 116 | 650 | 981 | 220 | 1 |

Проверим выбранный двигатель по перегрузочной способности, т.е. должно соблюдаться условие:

Мдв max >= Мс max, (4.8)

где Мдв max – максимальное значение момента, которое способен развить двигатель, Н∙м;

Мс max – максимальное значение момента нагрузки в течение рабочего цикла, Н∙м.

Выбранный двигатель в течение 10 с может работать с нагрузкой, втрое превышающую номинальную, т.е. Мдв max = 3∙Мн. Номинальный момент двигателя найдём из выражения:

Рн 22000

Мн = – = ––––– = 324 Н∙м (4.9)

wн 68

Получаем: Мдв max = 3 ∙ 324 = 972 Н∙м. Максимальное значение момента нагрузки при работе лифт режиме «Подъём кабины без груза»: Мс2 = 294 Н∙м, на основании чего можно сделать заключение о выполнении условия (4.8).

Проверим выбранный двигатель по условиям пуска:

Мдв п >= Мс п, (4.10)

где Мдв п – значение пускового момента двигателя, Н∙м;

Мс п – статический момент нагрузки на валу двигателя во время пуска, Н∙м.

Пусковой момент двигателя равен Мп = Мдв max=3∙324 = 972 Н∙м. Статический момент нагрузки на валу двигателя во время пуска Мс п = Мс2 = 294 Н∙м. Значит, выбранный двигатель удовлетворяет условиям пуска.

Так как работает в достаточно тяжёлом режиме, характеризующимся частыми пусками, остановами, изменением направления вращения, то возникает необходимость проверить двигатель по допустимому числу включений в час. Согласно паспортным данным двигатель имеет допустимое число включений в час – 2000. Рабочий механизм за цикл работы (Тц = 8 с) требует останова 1 раз. Тогда реальное число включений в час составит:

1 1

N = – ∙ 3600 = – ∙ 3600 = 450 (4.11)

Тц 8

Из выражения (4.11) видно, что максимальное число включений двигателя в час 450 раз. Исходя из этого приходим к выводу, что выбранный двигатель обеспечивает требуемое рабочим механизмом число включений в час.

Зная момент инерции двигателя, определим момент инерции первой массы по формуле (1.15):

J1 = Jдв + Jвр + Jпр,

где Jдв – момент инерции двигателя, кг∙м2;

Jвр – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции вращающихся частей, кг∙м2;

Jпр – приведенный к валу двигателя момент инерции противовеса, кг∙м2.

Подставляя численные значения, получаем:

J1 = Jдв + Jвр + Jпр = 1 + 0,25 + 1,7 = 2,95 кг∙м2

**4.2 Расчёт параметров и выбор силового преобразователя**

В соответствие с методом экспертных оценок в качестве выбранной системы электропривода лифта используем двигатель постоянного тока с управляемым выпрямителем. Регулирование скорости (т.е. переход на пониженную скорость) осуществляем изменением напряжения, подводимого к якорю двигателя.

Согласно условиям технологического режима в процессе работы необходимо изменять направление вращения двигателя лифта, то устанавливаем реверсивный привод. Кроме изменения направления вращения двигателя лифта, это даст возможность осуществлять торможение путём рекуперации энергии в сеть, т.е. использовать самый экономичный способ электрического торможения. Для уменьшения мощности силового оборудования выбираем управляемый выпрямитель с трёхфазной мостовой схемой. Выбор тиристорного преобразователя должен производиться по следующим критериям:

Iн >= Iн дв; Udн > Uн дв.

Согласно вышеприведенным условиям, выбираем тиристорный преобразователь, входящий в состав комплектного тиристорного электропривода серии КТЭУ и имеет следующие номинальные параметры:

* Iн = 200 А;
* Udн = 230 В.

**5. Расчёт статических механических и электромеханических характеристик привода**

Рассчитаем номинальные параметры двигателя.

По причине отсутствия в справочных данных на двигатель сопротивлений Rя, Rдп, Rко оп-ределим суммарное сопротивление якоря в нагретом состоянии из условия, что в ДПТ с независимым возбуждением переменные потери приблизительно составляют 50% от полных потерь:

тахограмма электропривод сопротивление

Uн

Rя∑ = в ∙ (1-зн) ∙ – (5.1)

Iн

Номинальное КПД определим следующим образом:

зн = Рн / (Uн ∙ Iн) =22000 / (220 ∙ 116) = 0,86 (5.2)

По (5.1) определим сопротивление якоря:

Uн 220

Rя∑ = в ∙ (1-зн) ∙ – = 0,5 ∙ (1 – 0,86) ∙ – = 0,13 Ом (5.3)

Iн 116

Номинальная угловая скорость:

wн = (р ∙ nн) / 30 = (р ∙ 650) / 30 = 68 рад/с (5.4)

Определим момент номинальный на валу двигателя:

Mн = Рн / wн = 22000 / 68 = 324 Н ∙ м (5.5)

Номинальный коэффициент ЭДС двигателя:

Uн – Iн ∙ Rя∑ 220 – 116 ∙ 0,13

Сe = ––––––––– = ––––––––––––– = 3,01 В∙с / рад (5.6)

wн 68

Найдём коэффициент связи между Мн и током якоря Iн:

См = Мн / Iн = 324 / 116 = 2,79 В ∙ с / рад (5.7)

Естественная статическая механическая характеристика имеет вид:

Uн Rя∑

w = ––– M ∙ –––– –– (5.8)

Ce Ce∙См

Так как механическая характеристика привода отличается от механической характеристики двигателя, то перейдём к построению характеристики привода. Общий вид статической механической характеристики системы УВ – ДПТ в режиме непрерывных токов следующий:

Edo ∙ cosб – ДUв Rо

w = ––––––––––––––– M ∙ – ––––– (5.9)

Ce Ce∙См

Из выражения (5.9) видно, что для построения статической механической характеристики привода в режиме непрерывных токов необходимо определить максимальное выпрямленное напряжение на выходе УВ, угол управлениятиристорами б для обеспечения различных скоростей для различных статических моментов и суммарное сопротивлении привода с учётом сопротивления коммутации Rк.

Определим какое значение пониженного напряжения нужно обдавать на якорь двигателя для получения рабочей скорости при различных загрузках.

Rя∑

Uk = wр ∙ Ce + Мk ∙ –––––

Cм

В результате подстановки численных значений и вычислений получили следующие характеристики:

* при Мс пр1 = 147 Н∙м для wр=56,8 рад/с: U1 = 178 В;
* при Мс пр2 = 294 Н∙м для wр=56,8 рад/с: U2 = 185 В;
* при Мс пр3 = 205 Н∙м для wр=56,8 рад/с: U3 = 180,5 В;
* при Мс пр4 = 210 Н∙м для wр=56,8 рад/с: U4 = 180,7 В.

Из расчетов видно, что максимальное напряжение нужно подавать при работе с момент статическим Мс пр2 = 294 Н∙м. Так как выбранный двигатель имеет номинальное напряжение 220В, то для исключения работы управляемого выпрямителя в зарегулированном режиме устанавливаем на входе преобразователя согласующий трансформатор. По этому режиму и будем рассчитывать выбирать трансформатор.

Найдём максимальное выпрямленное напряжение на выходе УВ:

Edo = kз ∙ U2 = 1,1 ∙ 185 = 203,5 В (5.10)

где kз – коэффициент запаса по напряжению.

Определим предварительное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

Edo 203,5

U2л = –––––––––––––––– = –––––––––––––––– = 150,6 В

√2 ∙ (m/р) ∙ sin (р/m) √2 ∙ (6/р) ∙ sin (р/6)

Ток при максимальной загрузке распределителя определим следующим образом:

I2 = Мс2 / См = 294 / 2,79 = 105,4 А (5.11)

Ток вторичной обмотки:

I2т = √2/3 ∙ I2 ∙ ki = √2/3 ∙ 105,4 ∙ 1,1 = 95 А (5.12)

где I2 – ток при максимальной загрузке распределителя, А;

ki – коэффициент непрямоугольности тока.

Исходя из следующих условий выбираем трансформатор:

U2л н >= U2л = 150,6 В; I2т н >= I2т = 95 А.

Номинальные данные выбранного трансформатора представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Номинальные данные выбранного трансформатора

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип  Трансформатора | Номинальныая мощность, кВ ∙ А | U1л н, В | U2л н, В | I2т н, А | Ркз, Вт | Uкз, % |
| ТСП-63/0,7 – УХЛ4 | 58 | 380 | 205 | 164 | 1900 | 5,5 |

Активное сопротивление фазы трансформатора:

Pкз 1900

Rт = –––––– = –––––––––––– = 0,0235 Ом (5.13)

m ∙ I22т н 3 ∙ 1642

Полное сопротивление фазы трансформатора:

zт = (U2ф н / I2т н) ∙ (Uк / 100), (5.14)

где U2ф н – номинальное фазное значение напряжения вторичной обмотки, В.

U2ф н = U2л н / √3 = 205 / √3 = 118,4 В (5.15)

zт = (U2ф н / I2т н) ∙ (Uк / 100) = (118,4 / 164) ∙ (5,5/ 100) = 0,04 Ом (5.16)

Индуктивное сопротивление фазы трансформатора:

XL = √ zт2 – Rт2 = √ 0,042 – 0,02352 = 0,032 Ом (5.17)

Индуктивность фазы трансформатора:

Lт = XL / (2 ∙ р ∙ f) = 0,032 / (2 ∙ 3,14 ∙ 50) = 0,0001 Гн = 0,1 мГн (5.18)

С учётом выбора трансформатора определим максимальное выпрямленное напряжение на выходе УВ:

Edo = √2 ∙ U2л ∙ (m/р) ∙ sin (р/m) = √2 ∙205 ∙ (6/р) ∙ sin (р/6) = 276,8 В (5.19)

Находим суммарное сопротивление привода:

Ro = Rя∑ + 2 Rт + Rком + Rсд (5.20)

Сопротивление коммутации определим как:

m ∙ XL 6 ∙ 0,032

Rком = –––––––––––– = –––––––– = 0,03 Ом (5.21)

2 ∙ р 2 ∙ р

Для выявления необходимости установки дросселя с целью ограничения пульсаций тока на коллекторе определим реальный уровень пульсаций тока на коллекторе по следующему выражению:

ee ∙ Edo

ie = –––––––––––––––––– , (5.22)

Iн ∙ wo ∙ (Lя + 2∙Lт)

где ee – коэффициент (для мостовых схем принимается равным 0,24).

Индуктивность обмотки якоря определим из формулы Ленвиля-Уманского:

г ∙ Uн 0,25 ∙ 220

Lя = ––––––––– = –––––––––––––– = 0,0035 Гн (5.23)

Iн ∙ wо ∙ p∙ 116 ∙ 68 ∙ 2

где г – коэффициент для двигателей, имеющих компенсационную обмотку.

Определим значение ie:

ee ∙ Edo 0,24 ∙ 276,8

ie = ––––––––––––– = –––––––––––––––––––––––––– = 0,08 = 8 (5.24)

Iн ∙ wo ∙ (Lя + 2∙Lт) 116 ∙ 2∙р∙50∙6 ∙ (0,0035 + 2∙0,1∙10-3)

Так как ie < 10%, то сглаживающий дроссель для ограничения пульсаций тока на коллекторе не нужен. В связи с этим принимаем Rсд = 0.

Найдём значение Ro:

Ro = Rя∑ + 2 Rт + Rком + Rсд = 0,13 + 2 ∙ 0,0235 + 0,03 = 0,207 Ом (5.25)

Определим угол управления б при различных приведенных загрузках Мсi для рабочей скорости (wр=56,8 рад / с):

wp∙Ce + Мсi∙Ro/Cм + ДUв

бi = arccos –––––––––––––––––– (5.26)

Edo

Для Мс1 = 147 Н∙м угол управления:

wp∙Ce + Мс1∙Ro/Cм + ДUв 56,8∙3,01 + 147∙0,207/2,79 + 2

б1=arccos–=arccos–=48о

Edo 276,8 (5.27)

Углы управления для обеспечения пониженной скорости определим по формуле (5.26) с заменой рабочей скорости на требуемую пониженную (wп = 10,6 рад / с). Так для Мс1 = 147 Н∙м угол управления:

wп∙Ce + Мс1∙Ro/Cм + ДUв 10,6∙3,01 + 147∙0,207/2,79 + 2

б1п = arccos –----------------------- = arccos ---------------------------- = 81о

Edo 276,8

Рассчитанные по выражению (5.26) углы управления б для рабочей и пониженной скорости с различными статическими моментами приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчёт углов управления б

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Мсi, Н∙м wi, рад/с | 147 | 294 | 205 | 210 |
| 56,8 | 48 о | 45 о | 47,2 о | 47 о |
| 10,6 | 81 о | 78 о | 79,8 о | 79,7 о |

Определим токи Id грi, моменты Мd грi и скорости wd грi в режиме граничных токов для различных углов б:

Edo ∙ sin бi

Id грi = ––––––––––––––– ∙ (1 – р/m ∙ сtg (р/m)) (5.29)

2∙XL + 2∙р∙fc∙Lя

Мd грi = Cм ∙ Id грi  (5.30)

Edo ∙ cosбi – ДUв Rо

wd гр i = ––––––––––––– Md гр i ∙ –––––––––– (5.31)

Ce Ce∙См

Рассчитанные значения граничных токов, моментов и соответствующих им угловых скоростей для рабочей и пониженной скорости с различными статическими моментами (с разными углами управления б приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Расчёт значений граничных токов, моментов и скоростей для различных углов б

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Угол управления б, о | Граничный ток Id гр i, А | Граничный момент Md гр i, Н∙м | Граничная скорость wd гр i, рад/с |
| 48 о | 15,79 | 44,06 | 59,34 |
| 45 о | 15,01 | 41,88 | 63,01 |
| 47,2 о | 15,49 | 43,23 | 60,79 |
| 47 о | 15,47 | 43,15 | 61,91 |
| 81 о | 20,85 | 58,17 | 12,79 |
| 78 о | 20,69 | 57,74 | 16,42 |
| 79,8 о | 20,79 | 58,01 | 14,22 |
| 79,7 о | 20,78 | 57,99 | 14,35 |

Из таблицы 5.3 видно, что на пониженной скорости максимальный момент, развиваемый двигателем, Md гр = 58,17 Н∙м. В свою очередь минимальный статический момент, который нужно преодолеть лифту, составляет Мс1 = 147 Н∙м. Поэтому для ограничения зоны прерывистых токов сглаживающий дроссель устанавливать не требуется.

Рассчитаем токи Iчi, противо ЭДС Eчi, моменты Мчi и скорости wчi в режиме прерывистых токов для различных углов б:

m Edo

Iчi = –– ∙ ––––––––– ∙ sin(ч/2)∙sin(ч/2–р/m+б)∙[1–ч/2∙ctg (ч/2)] (5.32)

р 2∙XL + 2∙р∙fc∙L

Edo

Eчi = – ∙ [sin (ч/2 – р/m+бi) – sin (бi – р/m)] – ДUв – Ro∙Iя (5.33)

ч

Мчi = См ∙ Iчi (5.34)

wчi = Eчi / Сe (5.35)

Подставляя в формулы (3.42) – (3.45) различные значения длительности протекания тока ч, для фиксированных углов управления тиристорами б определим токи Iчi, противо ЭДС Eчi, моменты Мчi и скорости wчi в режиме прерывистых токов.

Таблица 5.4 – Расчёт режима прерывистых токов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчёт для рабочей скорости (wр = 56,8 рад/с) | | | | |
| б1 = 48о | | | | |
| Ч | Iчi | Мчi | Ечi | wчi |
| 0.20 | 0.06088 | 0.170 | 250.96 | 83.38 |
| 0.40 | 0.59347 | 1.656 | 237.29 | 78.83 |
| 0.60 | 2.33526 | 6.515 | 220.36 | 73.21 |
| 0.80 | 6.24746 | 17.430 | 200.34 | 66.56 |
| 1.00 | 13.42441 | 37.454 | 177.42 | 58.94 |
| б1 = 45о | | | | |
| Ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.05355 | 0.149 | 256.44 | 85.20 |
| 0.40 | 0.53767 | 1.500 | 244.05 | 81.08 |
| 0.60 | 2.15873 | 6.023 | 228.31 | 75.85 |
| 0.80 | 5.86168 | 16.354 | 209.37 | 69.56 |
| 1.00 | 12.74273 | 35.552 | 187.4 | 62.26 |
| б1 = 47,2о | | | | |
| Ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.05894 | 0.164 | 252.49 | 83.88 |
| 0.40 | 0.57875 | 1.615 | 239.15 | 79.45 |
| 0.60 | 2.28879 | 6.386 | 222.54 | 73.93 |
| 0.80 | 6.14621 | 17.148 | 202.80 | 67.38 |
| 1.00 | 13.24615 | 36.957 | 180.13 | 59.85 |
| б1 = 47о | | | | |
| ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.05846 | 0.163 | 252.87 | 84.01 |
| 0.40 | 0.57505 | 1.604 | 239.61 | 79.61 |
| 0.60 | 2.27711 | 6.353 | 223.08 | 74.1 |
| 0.80 | 6.12072 | 17.077 | 203.41 | 67.58 |
| 1.00 | 13.20118 | 36.831 | 180.81 | 60.07 |
| Расчёт для пониженной скорости (wп = 10,6 рад/с) | | | | |
| б1 = 81о | | | | |
| ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.12650 | 0.353 | 149.57 | 49.69 |
| 0.40 | 1.06999 | 2.985 | 124.91 | 41.50 |
| 0.60 | 3.76227 | 10.497 | 98.53 | 32.73 |
| 0.80 | 9.16510 | 25.571 | 70.75 | 23.51 |
| 1.00 | 18.16119 | 50.670 | 41.93 | 13.93 |
| б1 = 78о | | | | |
| ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.12198 | 0.340 | 161.46 | 53.64 |
| 0.40 | 1.03932 | 2.900 | 137.51 | 45.68 |
| 0.60 | 3.67831 | 10.262 | 111.66 | 37.10 |
| 0.80 | 9.01426 | 25.150 | 84.2 | 27.98 |
| 1.00 | 17.96268 | 50.116 | 55.57 | 18.46 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| б1 = 79,8о | | | | |
| ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.12473 | 0.348 | 154.38 | 51.29 |
| 0.40 | 1.05807 | 2.952 | 129.99 | 43.19 |
| 0.60 | 3.72991 | 10.406 | 103.82 | 34.49 |
| 0.80 | 9.10776 | 25.411 | 76.17 | 25.31 |
| 1.00 | 18.08773 | 50.465 | 47.41 | 15.75 |
| б1 = 79,7о | | | | |
| ч | Iчi | Eчi | Мчi | wчi |
| 0.20 | 0.12458 | 0.348 | 154.77 | 51.42 |
| 0.40 | 1.05705 | 2.949 | 130.42 | 43.33 |
| 0.60 | 3.72714 | 10.399 | 104.26 | 34.64 |
| 0.80 | 9.10280 | 25.397 | 76.62 | 25.45 |
| 1.00 | 18.08125 | 50.447 | 47.86 | 15.90 |

**6. Расчёт переходных процессов в электроприводе за цикл   
 работы**

Чтобы рассчитать переходных процессов за цикл работы, представим электропривод как электромеханическую систему в виде последовательно соединённых между собой звеньев. Это означает, что каждый элемент, входящий в электропривод, опишем ему соответствующим звеном.

Для ограничения рывка нужно плавно задавать скорость, т.е. напряжение задания должно изменяться до установившейся величины по определённому закону. Для этого на входе системы устанавливаем задатчик интенсивности, который описывается интегрирующем звеном и имеет передаточную функцию в виде:

1

W(p) = –, (6.1)

Tи∙p

где Tи – постоянная времени интегрирующего звена, с.

Постоянную времени интегрирующего звена определим исходя из времени, в течении которого напряжение задания должно достигнуть установившегося значения. В свою очередь напряжение задания достигнет установившегося значения, когда ускорение будет постоянным. Отсюда находим постоянную времени Tи.

адоп

Tи = –––, (6.2)

rдоп

где адоп – допустимое ускорение, м\с2;

rдоп – допустимый рывок, м\с3.

адоп 2

Tи = ––– = –––– = 0,4 с

rдоп 5

Для того, чтобы проектируемый электропривод мог обеспечивать максимальное быстродействие при ограничении ускорения и рывка, необходимый диапазон регулирования для обеспечения заданной точности останова, а также при различных загрузках лифта иметь одну и ту же рабочую скорость, необходимо строить замкнутую систему стабилизации скорости. При этом для стабилизации скорости регулятор скорости при настройке контура скорости на симметричный оптимум, а для достижения максимального быстродействия при минимальном перерегулировании и ограничения ускорения нужно рассчитать регулятор тока и настроить контур тока на модульный оптимум.

Управляемый выпрямитель описывается апериодическим звеном первого порядка, коэффициент передачи которого Kтп, постоянная времени Ттп. Двигатель также представляет собой инерционное звено. Датчик тока и датчик скорости описываются безинерционными звеньями.

Выясним можно ли пренебречь упругими звеньями кинематических звеньев, чтобы принять расчётную схему механической части одномассовой.

В случае одномассовой расчётной схемы должно соблюдаться условие:

J1 ∙ J2

tрег жел >= 40∙ р ––––––– , (6.3)

C (J1 + J2)

где tрег жел – желаемое время регулирования, с;

J1 – приведенный момент инерции первой массы, кг∙м2;

J2 – приведенный момент инерции второй массы, кг∙м2;

С – приведенная жёсткость, Н∙м.

Подставляем в формулу (6.3) численные значения:

J1 ∙ J2 2,95∙1,3

tрег жел >= 40∙ р ––––––– = 40∙ р –––––––––– = 10,4 с

C (J1 + J2) 132 ∙ (2,95+1,3)

Из первого пункта расчётов получили, что желаемое время регулирования tрег жел= 0,75 с. Значит, условие (6.3) не выполняется. Поэтому принимаем расчётную схему механической части двухмассовой консервативной и проводим расчёт для этой системы. Расчётная схема механической части включает три интегрирующих звена и имеет две обратные связи: по скорости и по моменту.

Для расчёта параметров регулятора тока нужно записать желаемую передаточную функцию разомкнутого контура тока и приравнять её к передаточной функции реальной передаточной функции разомкнутой системы, умноженной на передаточную функцию регулятора тока. В результате преобразований найдём передаточную функцию регулятора тока:

Tоp + 1

W(p)рт = ––––––––––––––––, (6.4)

a1Tмp kтпkот / Rо

где Tм – некомпенсируемая постоянная времени (Tм = Tтп), с;

а1 – коэффициент демпфирования по току (для модульного оптимума принимается а1=2);

kтп – коэффициент передачи управляемого выпрямителя;

kот – коэффициент обратной связи по току, В/А;

Rо – суммарное сопротивление привода, Ом;

Tо – постоянная времени привода, с.

При расчёте контура скорости передаточная функция контура тока представляет собой:

1 / koт

W(p) = –––––––––––––––– (6.5)

a1Tм2p2 + a1Tмp + 1

Так как член a1Tм2p2 мал посравнению с a1Tмp, то при расчёте регулятора скорости учитывать его не будем. После преобразований передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

J ∙ kот 8 Tмp + 1

W(p)рс = –––––– ∙ –––––––––, (6.6)

Cм ∙ kос 4Tм ∙ 8 Tмp

где J – суммарный приведенный момент инерции привода, кг ∙ м2;

kос – коэффициент обратной связи по скорости, В∙с/рад.

Таким образом, в результате расчёта системы получили ПИ-регулятор тока и ПИ-регулятор скорости.

Структурная схема замкнутой системы стабилизации скорости представлена в приложении В.

Рассчитаем параметры системы.

Коэффициент передачи тиристорного преобразователя:

kтп = Edo / Uy = 276,8 / 10 = 27,68 (6.7)

Рассчитаем коэффициенты обратных связей по току и скорости.

Коэффициент обратной связи по току:

kот = Uзт max / Imax = 10 / (3 ∙ 168) = 0,0287 В/А (6.8)

Коэффициент обратной связи по скорости:

kос = Uзс max / wp =10 / 56,8 = 0,176 В∙с/рад (6.9)

Сопротивление привода: Ro = 0,27 Ом.

Постоянная времени находится так:

Lя + 2 ∙ LТ 0,0035 + 2 ∙ 0,1 ∙ 10-3

To = ––––––– = –––––––––––––––––––– = 0,018 с (6.10)

Rо 0,207

Коэффициент связи тока и момента двигателя на валу: См = 2,79 В∙с/рад.

Составляем детализированную структурную схему астатической системы УВ-ДПТ с учетом типовых нелинейностей для регуляторов системы управления. Затем на основании полученной структурной схемы системы составляем программную модель электропривода. Разработанную математическую модель электропривода для дальнейшего экспериментального исследования преобразовываем в программную модель на языке программирования Turbo Pascal 7.0 в системе моделирования Runge\_4.

Математическая модель системы приведена ниже:

iz (Uz, a[1], dx[1]);

if ABS (x[1])<10 then x[10]:=x[1];

if x[1]>10 then x[10]:=10;

if x[1]<-10 then x[10]:=-10;

pir (x[10], x[11], a[2], a[3], dx[2], x[2], x[12]); x[11]:=x[6]\*a[16];

pir (x[12], x[13], a[4], a[5], dx[3], x[3], x[14]); x[13]:=x[5]\*a[15];

az (x[14], a[6], a[7], dx[4], x[4]);

x[15]:=x[4] – a[12]\*x[6];

az (x[15], 1/a[8], a[9], dx[5], x[5]);

x[16]:=x[5]\*a[10];

x[17]:=Mc1;

x[18]:=x[16] – reaktiv (x[17], x[6]);

iz (x[18], a[11], dx[6]);

x[19]:=x[6] – x[8];

iz (x[19], 1/a[13], dx[7]);

x[20]:=Mc2;

x[21]:=x[7] – x[20];

iz (x[21], a[14]/Rpr, dx[8]);

iz (x[8], 1, dx[9]).

В этих выражениях a[1]… a[16] – параметры системы, х[1]… х[21] – переменные модели.

Значения параметров системы:

Порядок системы: 9

Число переменных модели: 21

Число параметров модели: 16

A[1] = 1.0000000000E+00; Тзи

A[2] = 1.0980000000E+01; Крс

A[3] = 1.2900000000E-02; Трс

A[4] = 2.3450000000E-01; Крт

A[5] = 7.7000000000E-02; Трт

A[6] = 2.7680000000E+01; Ктп

A[7] = 1.0000000000E-02; Ттп

A[8] = 2.0700000000E-01; R0

A[9] = 1.8000000000E-02; Т0

A[10] = 2.7900000000E+00; См

A[11] = 4.2500000000E+00; J1

A[12] = 3.0100000000E+00; Се

A[13] = 1.3200000000E+05; С

A[14] = 1.3000000000E+00; J2

A[15] = 5.9500000000E-02; Кот

A[16] = 1.7600000000E-01; Кос

y – Начальные условия нулевые

Конечное время = 4.0000000000E+00;

Шаг интегрирования = 1.0000000000E-03;

Из графиков следует, что при нарастании скорости момент увеличивается, а затем с некоторым запаздыванием, обусловленным инерционностью регулятора, ограничивается насыщением последнего. При достижении скоростью установившегося значения момент, развиваемый двигателем, становится равным моменту нагрузки. При переходе на пониженную скорость осуществляется рекуперативное торможение, в результате чего момент двигателя изменяет свой знак. После срабатывания датчика точного останова двигатель отключается от сети и налаживается механический тормоз. В результате действия тормозного момента, а также реактивного статического момента, происходит останов двигателя с заданной точностью.

**7. Проверка правильности расчёта мощности и окончательный выбор двигателя**

Для нахождения загрузки двигателя воспользуемся системой моделирования Runge\_4. На основании прогонки программной модели и получения графиков переходных процессов определим средне-квадратичное значение момента за цикл работы. Нахождение средне-квадратичного значение момента обусловлено тем, что в течении цикла работы полезный поток машины не изменяется, а следовательно применение методов эквивалентного тока и момента равноценны. Проведём анализ результатов расчета.

Результаты расчета переменной X[16] – Момент, развиваемый двигателем за цикл работы.

Анализ результатов расчета

Введите номер переменной (максимальный 21) 16

Результаты расчета переменной X[16]

Средне-квадратичное значение переменной 3.2601600933E+02

Это означает, что Мср кв = 326 Н∙м.

По средне-квадратичному значению момента Мср кв ст за цикл работы с учётом приведения к стандартному ПВст и номинальному значению момента двигателя Мн определим загрузку двигателя:

Мср кв ст 315,6

K = ––––––– ∙ 100% = –––––– ∙ 100% = 97% (7.2)

Мн 324

Таким образом, выбранный двигатель проходит по условию нагрева.

**8. Разработка схемы электрической принципиальной**

**8.1 Разработка схемы силовых цепей, цепей управления и защиты**

Согласно задания в качестве источника питания имеется трёхфазную сеть напряжением 380 В и частотой 50 Гц. На входе потока силовой энергии устанавливаем автоматический выключатель с расцепителем тока короткого замыкания и тепловым расцепителем. Его функция состоит в размыкании силовой цепи в случае аварийного режима или длительного действия токов перегрузки. Для согласования напряжения с входным напряжением тиристорного преобразователя комплектного электропривода. Тиристорный преобразователь имеет мостовую схему, что обеспечивает лучшие характеристики электроприводу в целом. К выходу тиристорного преобразователя подключаем выбранный двигатель краново-металлургической серии номинального режима S3. Независимая вентиляция обеспечивается асинхронным двигателем М2. Для питания обмотки возбуждения этого двигателя используем тиристорный возбудитель. С валом двигателя соединяем тахогенератор, напряжение с которого подаётся в систему управления управляемого выпрямителя. К комплектному электроприводу подключается схема, обеспечивающая разгон двигателя до рабочей скорости, переход на пониженную скорость и с изменением направления вращения.

Согласно заданному технологическому режиму и требованиям, предъявляемым к электроприводу, в течение цикла работы разрабатываемая схема управления должна обеспечить пуск, переход на пониженную скорость с целью обеспечения заданной точности останова, перемещение кабины лифта в нужном направлении, останов двигателя, требуемую выдержку времени для открытия-закрытия дверей и входа-выхода пассажиров. Для осуществления этой задачи в схеме использованы следующие аппараты управления: кнопочные выключатели, промежуточные реле, реле времени, путевые выключатели, резисторы.

Промежуточные реле необходимы для замыкания и размыкания цепей управления при подаче на катушку напряжения с целью обеспечения электроприводу требуемой скорости. Реле времени используются для обеспечения требуемой выдержки времени открытия-закрытия дверей и входа-выхода пассажиров. Кнопочные выключатели применяются для пуска двигателя в начале работы, для обеспечения режима ревизии и для аварийного останова двигателя в процессе работы. Путевые выключатели в данной схеме предназначены для задания момента времени перевода электропривода на пониженную скорость и отключения двигателя от сети с последующем наложением механического тормоза, в зависимости от пройденного пути кабиной лифта.

После нажатия на кнопку SB2 на катушку промежуточного реле KV подаётся напряжение и реле замыкает свой контакт в схеме, подключённой к преобразователю, тем самым разгоняя привод до рабочей скорости. Для перехода электропривода на пониженную скорость с целью обеспечения точности остановка необходимо, чтобы сработало промежуточное реле KV2, которое разомкнёт свой контакт в схеме, подключенной к преобразователю, и ток потечёт через резистор R1. При этом до установления пониженной скорости двигатель работает в режиме рекуперации энергии в сеть. Для осуществления останова двигателя применяем другой путевой выключатель SQ2. После срабатывания этого аппарата двигатель отключается от сети и происходит наложение механического тормоза. Аналогично электропривод работает в другом направлении.

Для обеспечения режима ревизии используются кнопочные выключатели SB4 и SB5 и промежуточные реле KV9 и KV10, нормально замыкающие контакты которых находятся в схеме управления, подключённой к преобразователю. При нажатии на кнопку «Ревизия вверх» и последующем её удержании кабина лифта движется вверх со скоростью 0,25Vном. При нажатии на кнопку «Ревизия вниз» и последующем её удержании кабина лифта движется вниз со скоростью 0,25Vном.

**8.2 Выбор элементов схемы**

Выбор автоматического выключателя производим согласно следующим требованиям:

– Uн ав >= Uc;

* Iуст max расц >= (1,5 – 1,8) ∙ Iп;

– Iн ав >= Iдлит;

* Iн тепл расц >= Iн длит.

Рассчитываем значения токов и напряжений:

Uc = 380 В; Iдлит = Iн = 116 А; Iп = 3∙Iн = 3 ∙ 116 =348 А, 1,8∙ Iп = 626 А.

По рассчитанным параметрам выбираем автоматический выключатель серии А374 5Б У3 с номинальными параметрами:

– Uн ав = 220 В;

– Iн ав = 160 А;

– Iуст max расц = 960 А;

* Iн тепл расц = 125 А.

Выбираем резисторы R1, R2, R3, R4, R5. Задаёмся сопротивлением резистора R3=1000 Ом. После проделанных расчётов получили R1=2749 Ом, R2=1937 Ом. При этом максимальный ток, протекающий через контакты промежуточных реле, будет равен Iконт=Umax з/R3 =10/1000=0,01 А. Выбираем резисторы R1, R2, R3, R4, R5 типа ПЭВ с номинальной мощностью Рн=10 Вт и выше рассчитанными величинами сопротивлений.

Зная максимальный ток, протекающий через контакты промежуточных реле проделаем выбор промежуточных реле осуществляем согласно следующим условиям:

– Uн = Uc;

– Iконт >= Iн нагр;

– по числу и исполнению контактов.

Принимая во внимание, что Uc = 220 В и Iконт=0,01 А, выбираем промежуточные реле типа РПЛ 22 с номинальными параметрами: Uн=220 В, Iконт = 10 А, Рн=9 В∙А.

Реле времени выбираем по следующим условиям:

– Uн = Uc;

– Iн >= Iконт;

– по заданной выдержке времени.

Исходя из условий выбираем реле времени РВП-72 со следующими номинальными параметрами: Uн=220 В, Iконт = 1 А и выдержкой времени 5,14 с.

Выбор путевых выключатей осуществляем исходя из следующих условий:

* Uн пв >= Uс;
* Iн пв >= Iнагр.

Ток через контакты концевых выключателей определим исходя из номинальной мощности выбранных промежуточные реле: Iн пв= Рн/Uс=9/220=0,04 А.

Устанавливаем путевой выключатель ВП16П с номинальными параметрами Uн=220 В, Iн = 0,2 А.

Кнопочные выключатели выбираем из условий:

– Uн >= Uc;

– Iн >= Iдлит;

Выбираем кнопочные выключатели серии КЕ с номинальными параметрами Uн=220 В, Iн = 3 А.

Выбор тахогенератора проводим согласно следующим условиям:

– – wн тг >= wmax;

* коэффициент передачи тахогенератора должен обеспечивать все режимы работы привода.

Скорость wmax соответствует рабочей скорости wр = 56,8 рад/с.

Выбираем тахогенератор ПТ 31/1 с номинальными данными:

* n = 600 об/мин;
* U = 230 В;
* Iя =0,5 А;
* Rя = 31,1 Ом;
* I в = 0,52 А;
* Rв = 94 Ом.

**Заключение**

В результате расчёта разработан электропривод лифта высотного здания, обеспечивающий все предъявляемые к нему требованиям: пуск до рабочей скорости, стабилизация скорости, точный останов с помощью перехода на пониженную скорость с её последующей стабилизацией и перемещение кабины лифта на заданную высоту. Процесс расчёта переходных процессов и последующий расчёт средне-квадратичного момента за цикл работы показали, что спроектированный электропривод обеспечивает хороший тепловой режим, следовательно двигатель по мощности выбран верно.

**Литература**

1. Павлов В.Н. Лифты и подъёмники – М.: Энергия, 1989. – 247 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомииздат, 1985. – 560 с.
3. Теория электрического привода. Методические указания по курсовому проектированию. – ч. 1 – ч. 5. Могилёв: ММИ, 1991.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник. Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомииздат, 1988. – 319 с.
5. Чиликин М.Г. и др. Теория автоматизированного электропривода: Учеб. Пособие для вузов / Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.