Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Заочный инженерно-экономический»
Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Рецензент
Сам /Самгреева/
"16" VI **2016 г.**

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор
/Л.И. Цытович/
"09" июня **2016 г.**

Электропривод грузового лифта

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ-140604.2016.973ПЗ

Консультанты:

"____" _____ 2016 г.

по БЖД
Бухтояров В.Ф.
"23" мая 2016 г.

по экономике
Васильев Е.Ж.
"23" мая 2016 г.

Руководитель проекта:

Сивкова А.П.

Автор проекта
студент группы ЭПА-647

Гильмутдинов Б.А.

Нормоконтролер

/Т.А. Функ/
"09" июня 2016 г.

Челябинск
2016 г.

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Заочный инженерно-экономический
Специальность Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_Цытович_Л._И._____
"09" июня 2016 г.

З А Д А Н И Е

по дипломному проекту (работе) студента

_Гильмутдинова_Бориса_Алековича_____
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта (работы)
_____Электропривод_____грузового_____лифта_____

утверждена приказом по университету от "15" апреля 2016г. № 661

2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы) 03.06.2016

3. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1. _ Описание технологического процесса работы грузового лифта, кинематической схемы и конструктивных особенностей.
2. Технические данные и требования, предъявляемые к электроприводу лифта и системе управления. Постановка задачи проектирования.
3. Расчет мощности электродвигателя.
4. Технико-экономическое обоснование системы электропривода.
5. Выбор рода тока, типа электродвигателя и преобразовательного агрегата.
6. Разработка функциональной схемы электропривода грузового лифта.

7. Расчет статистических и динамических параметров и хара электропривода.

8. Расчет энергетических характеристик электропривода.

9. Выбор электрической аппаратуры, проектирование принци электрической схемы электропривода.

10. Составление электрических схем соединений.

11. Разработка конструктивных узлов электропривода.

12. Требования к системе автоматизации, разработка алгоритм системы автоматизации проектируемого объекта.

13. Выбор элементной базы системы автоматизации.

14. Разработка функциональной и принципиальной схем автоматизации.

15. Анализ полученных результатов

4. Перечень графического материала (с точным указанием обязательн чертежей)

1. ___ Кинематическая схема – 1 л.
2. Функциональная электрическая схема электропривода – 1 л.
3. Принципиальная электрическая схема электропривода – 1 л.
4. Статистические, динамические и энергетические характ электропривода. Теоретический чертеж –1 - 2 л.
5. Алгоритм управления системы автоматизации, программное об поясняющие рисунки. Теоретический чертеж. - 1 л.
6. Функциональная или принципиальная схемы автоматизации –1л.
7. Технико-экономические показатели проекта. Теоретический черте

Зав. кафедрой _____ /__Цытович__Л._И.

Руководитель проекта _____ /__Сивкова__А._П.

Студент-дипломник _____ /_Гильмутдинов_Б.А

В лифта электр двига преоб Ра прове среде Ис режи Ра функ В расче экспл В обосн

Изм. Лис
Разраб.
Провер.
Рецензе
Н. Контр.
Утверд.

АННОТАЦИЯ

Гильмутдинов Б.А. Электропривод грузового лифта. – Челябинск: ЮУрГУ, ЭПА 647; 2016, 111 с., 24 ил., 18табл., Библиографический список–13 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В дипломной работе приводится обоснование модернизации грузового лифта. Приводится анализ и обоснование выбора асинхронного электродвигателя с частотным регулированием. Произведен расчет и выбор двигателя 4MTKH160L6 с проверкой по перегреву и частотного преобразователя ATO5 - 015.

Разработана система управления электроприводом грузового лифта и проведены исследования динамического режима работы в программной среде MATLAB 2010a.

Исследованы и проанализированы переходные процессы при различных режимах работы системы.

Разработка алгоритма работы автоматизации привода с построением функциональной и принципиальной схемы в программе КОМПАС.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» производится разработка и расчет основных мероприятий, рассматривается техника безопасности при эксплуатации грузового лифта и производится расчет защитного заземления.

В разделе «Экономическая часть» проведено технико-экономическое обоснование выпускной работы.

ВВЕДЕНИЕ

Многоэтажные здания в современное время используют вертикальный транспорт для облегчения перемещения людей и груза вверх или вниз. Самый распространенный вид подъемного механизма использующихся в жилых домах, административных зданиях, производственных помещениях считаются лифты. К преимуществам можно отнести небольшое пространство оборудования занимаемое в здании.

Механизм лифта представляет собой вертикальный транспорт, предназначенный для транспортировки пассажиров и грузов в жилых зданиях. Так же грузовой лифт очень широко распространен в использовании на производствах для перемещения больших грузов внутри самого здания.

Современный лифт сложный электромеханический подъемник, который обслуживает два или больше этажей различной высоты в полуавтоматическом режиме по установленной программе.

Передвижение осуществляется по вертикальным направляющим, расположенные в лифтовой шахте с возможностью отклонения до 15°.

Первые лифты выглядели как подъемные устройства на лебедке которой были цепи или веревки. Выглядело это как платформа на которой тащат или толкают груз механически. Непрерывная модернизация лифтового оборудования даст надежную и безопасную работу.

Современные лифты имеют кабину, которая устанавливается на платформу в закрытом помещении, называемом шахтой лифта. Ранний привод лифта осуществлялся в движение от паровых и водонагревательных гидравлических поршней. В "тянущемся" лифте, кабина тянется при помощи стальных канатов скользящих по глубоко нарезанному ролику, также называемому шкивом или катушкой. Вес кабины сбалансируется противовесом, изготовленный из железобетонных плит заложенные металлический каркас, предназначенный для уравновешивания веса кабины и часть груза, что бы уменьшить потребление энергии и мощность двигателя.

Для регулирования скорости в лифтах с асинхронными двигателями (АД) применяются преобразователи частоты (ПЧ), осуществляющие преобразование энергии в импульсном режиме.

При построении систем автоматического управления электроприводами (ЭП) важно обеспечить необходимое качество переходных процессов регулирования и ограничения на допустимых уровнях выходных регулируемых переменных – обычно скорости и/или положения рабочего органа, тока или момента ЭП.

Хорошего результата получают с помощью реализации качественной системы управления электрической машины векторного управления моментом.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ ГРУЗОВОГО ЛИФТА

1.1 Описание рабочей машины

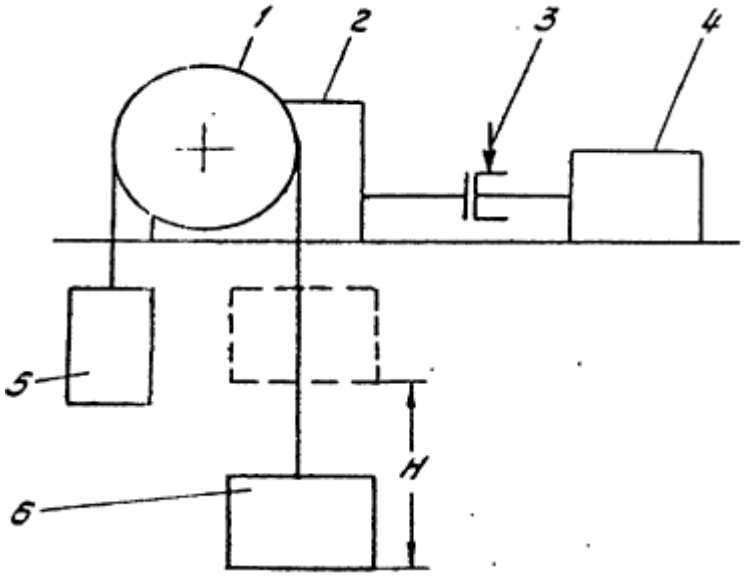


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема грузового лифта:
1 – канатоведущий шкив, 2 – редуктор, 3 – тормозной шкив, 4 – двигатель, 5 – кабина, 6 – противовес

Лифтом называют подъемный механизм периодического действия, обслуживающее здания с двумя или более этажами, включает в себя кабину для транспортировки пассажиров и/или грузов между уровнями этажей. Кабина обычно передвигается электроприводом по прикрепленным к стенам шахты жестким направляющим рельсам, расположенным вертикально или с небольшой погрешностью от вертикального положения не более чем на 15° . Электрическим считается лифт, лебѐдка которого приводится в действие электродвигателем.

К основным параметрам лифта относятся:

Номинальной грузоподъемностью лифта относится наибольшая масса груза, на транспортирование которого он рассчитан. Масса кабины и постоянно находящихся в ней устройств и оборудования (монорельса, рельсовых путей, тали и т. п.) в величину грузоподъемности не включается.

Номинальной скоростью грузового лифта является скорость движения кабины, для которой рассчитан лифт.

1.2 Технические характеристики грузового лифта в соответствии с требованиями технического задания

Таблица 1.1 – Технические данные механизма грузового лифта

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$m_Г$	Масса груза	т	4
$m_К$	Масса клети	т	6,5
$m_П$	Масса противовеса	т	8,5
D	Диаметр шкива	м	0,35
h	Высота подъёма	м	9
V_R	Скорость подъёма	м/с	0,25
$a_{доп}$	Ускорение допустимое	м/с^2	0,5
z	Число циклов	1/ч	30
t_P	Время работы	с	90

Подъемный механизм перемещает кабину лифта с помощью канатов, закрепленных на кабине подвеской. Противовес уравновешивает кабину и часть груза, что позволяет уменьшить нагрузку с двигателя. Кабина и противовес перемещаются по жестким направляющим, установленным в шахте лифта, для точного хода во время движения.

Над кабиной и под ней есть направляющие башмаки, так же они есть на противовесе которые фиксируют кабину и противовес.

В данном дипломном проекте проектируется грузовой лифт для повторно – кратковременного режима работы и для полной загрузки кабины лифта. Максимально допустимый вес – 4000 кг.

Работа грузового лифта делится на 7 участков и представлены на рисунке 1.2. На первом участке работы происходит разгон рабочего органа до установившейся скорости. На втором участке кабина поднимается с установившейся скоростью. На третьем участке происходит торможение лифта при подъеме груза. На четвертом участке время паузы. На пятом участке происходит разгон лифта при опускании кабины до установившейся скорости. На шестом участке кабина спускается с установившейся скоростью. На седьмом участке происходит торможение лифта до полной остановки.

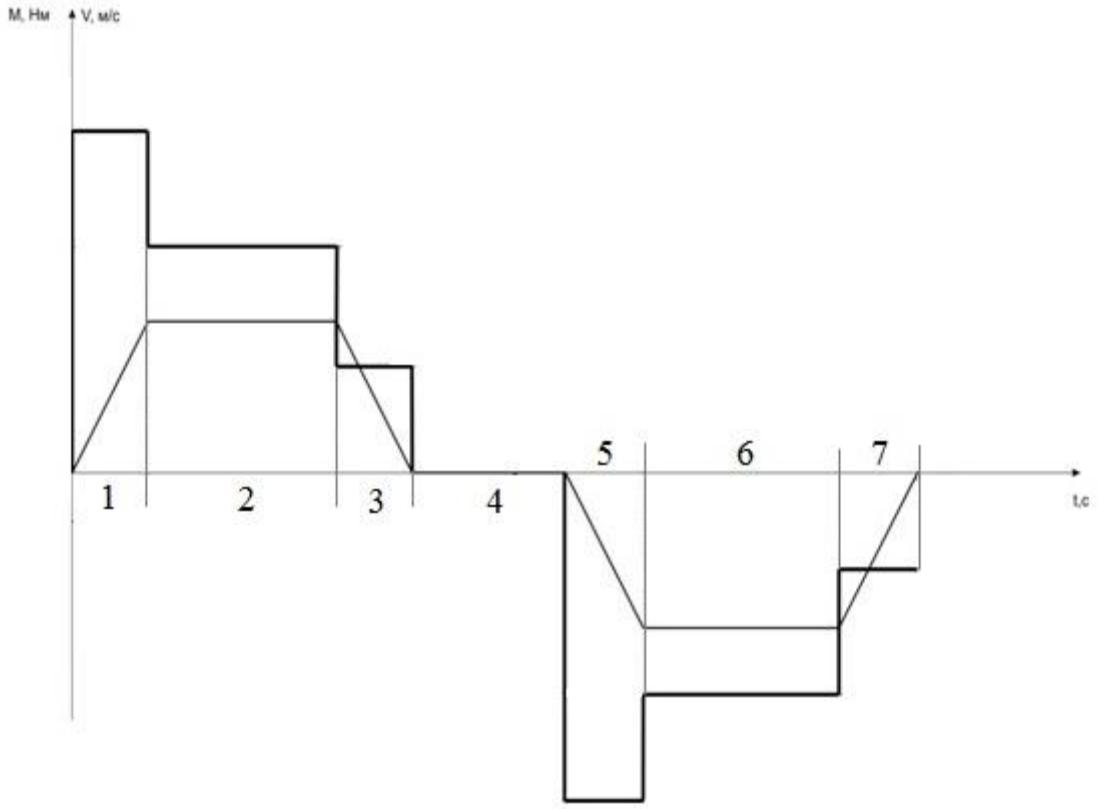


Рисунок 1.2 – Циклограмма работы грузового лифта

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ЛИФТА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В выборе системы электропривода нужно учесть совокупность требований, предъявляемых к электроприводу.

Основными требованиями, которые должны быть обьязательно выполнены при разработке электропривода, являются требования технологические:

– должна быть обеспечена заданная производительность механизма, уменьшение производительности не окупается снижением стоимости самого оборудования;

–передвижение грузового лифта должно выполняться в пределах установленного времени;

– увеличение скорости лифта не должно превышать заданного значения;

–заданное значение не должно увеличивать отклонение скорости установившегося режима;

–по требованию рабочей машины, электропривод должен обеспечить реверс.

К требованиям, обеспечивающим надежную и экономическую работу электропривода в течении срока эксплуатации оборудования, относятся:

–величина эквивалентного тока (момента) должна быть в пределах 0,85…1 ее допустимого значения;

–тиристорный преобразователь и двигатель должны выдерживать возникающие кратковременные перегрузки;

–величины сопротивлений пусковых и тормозных резисторов не должны отличаться от расчетных значений более чем на 5%;

–величина эквивалентного по нагреву тока резисторов должна быть в пределах 0,7…1 длительного тока резистора наиболее нагруженной ступени;

–экономичность системы должна быть максимальной, обеспечивающей

минимум капитальных затрат и минимум потерь энергии.

3 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

3.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя

Расчёт времени работы на каждом участке работы лифтах [1,2]. Время пуска $t_П$ допустимое ускорение до установленной скорости, торможения $t_Т$ от установленной скорости, до остановки:

$$t_n = t_m = \frac{v_y}{a}, \quad (1)$$

где v_y – заданная скорость движения, м/с;

a – допустимое ускорение, м/с^2.

В соответствии с формулой (1) движении вверх:

$$t_{n1} = n_{m1} = \frac{0{,}25}{0{,}5} = 0{,}5\ c,$$

движении вниз:

$$t_{n2} = n_{m2} = \frac{0{,}25}{0{,}5} = 0{,}5\ c,$$

Путь, проходимый лифтом за время пуска и торможения:

$$L_n = L_m = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{доп}}, \quad (2)$$

Соответственно формуле (2) при движении вверх:

$$L_{n1} = L_{m1} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0{,}25)^2}{2 \cdot 0{,}5} 0{,}0625 \text{ м},$$

При движении вниз:

$$L_{n2} = L_{m2} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0{,}25)^2}{2 \cdot 0{,}5} 0{,}0625 \text{ м},$$

Время установившегося режима движения лифта со скоростью v_y

$$t_y = \frac{L-(L_n+L_m)}{v_y} \quad (3)$$

где L – высота подъёма груза, м.

В соответствии с формулой (3) для движения вверх:

$$t_{y1} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y} = \frac{9 - (0{,}0625 + 0{,}0625}{0{,}25} = 35{,}5\ c,$$

Для движения вниз:

$$t_{y2} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y} = \frac{9 - (0{,}0625 + 0{,}0625}{0{,}25} = 35{,}5\ c,$$

Найдём время паузы:

$$t_0 = t_p - 2t_{n1} - 2t_{n2} - 2t_y = 90 - 2 \cdot 0{,}5 - 2 \cdot 0{,}5 - 2 \cdot 35{,}5 = 17\ c,$$

Расчёт статических моментов рабочей машины.

Момент сил трения в подшипниках барабана:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{m_{\text{ТП}} \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2}, \qquad (4)$$

где $m_{ТП}$ – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг

$d_{СТ}$ – диаметр шейки вала или оси, м;

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

$g = 9.81\ м/с^2$ - ускорение силы тяжести.

В соответствии с формулой (4) момент сил трения в подшипниках барабана:

При движении лифта с грузом:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{(m_{\text{Г}} + m_k + m_{\text{П}}) \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2} =$$
$$= \frac{(4000 + 6500 + 8500) \cdot 0{,}0875 \cdot 0{,}02 \cdot 9{,}81}{2} = 163{,}09\ \text{Нм};$$

При движении лифта без груза:

$$M_{\text{ТП2}} = \frac{(m_k + m_{\text{П}}) \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2} == \frac{(6500 + 8500) \cdot 0{,}0875 \cdot 0{,}02 \cdot 9{,}81}{2}$$
$$= 128{,}8\ \text{Нм}.$$

Момент силы тяжести:

$$M_{\text{СТ}} = \frac{m \cdot g \cdot D}{2}, \qquad (5)$$

где m – масса поднимаемого или опускаемого груза, кг;

D – диаметр шкива, м.

В соответствии с формулой (5) момент силы тяжести:

При движении лифта вверх:

$$\text{М}_{\text{ст1}} = \frac{(m_{\text{Г}} + m_k + m_{\text{П}}) \cdot g \cdot D}{2} = \frac{(4000 + 6500 - 8500) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}35}{2} = 3434 \text{ Нм};$$

При движении лифта вниз:

$$\text{М}_{\text{ст1}} = \frac{(m_{\text{К}} + m_{\text{П}}) \cdot g \cdot D}{2} = \frac{(8500 - 6500) \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}35}{2} = 3434 \text{ Нм}.$$

По заданию дипломного проекта необходимо обеспечить подъем кабины лифта с грузом и движение вниз кабины без груза.

При движении лифта вниз и вверх:

$$M_{РОСТ1} = M_{СТ1} + M_{ТП1} = 3434 + 163{,}09 = 3596{,}61 \ Нм;$$

$$M_{РОСТ2} = M_{СТ2} + M_{ТП2} = 3434 + 128{,}8 = 3562{,}28 \ Нм.$$

Расчёт динамических моментов рабочей машины:

Определим момент инерции рабочего органа по формуле (6):

$$J_{РО} = J_{Ш} + m \cdot \frac{D^2}{4}. \qquad (6)$$

При движении с грузом:

$$J_{РО1} = J_{Ш} + (m_Г + m_К + m_П) \cdot \frac{D^2}{4} = 0{,}4 + (4000 + 6500 + 8500) \cdot \frac{0{,}35^2}{4} = 582{,}28 \ кгм^2;$$

.

При движении без груза:

$$J_{РО2} = J_{Ш} + (m_К + m_П) \cdot \frac{D^2}{4} = 0{,}4 + (6500 + 8500) \cdot \frac{0{,}35^2}{4} = 459{,}78 \ кгм^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения определим динамические моменты лифта при движении.

При движении с грузом:

$$M_{РОДИН1} = J_{РО1} \frac{2a}{D} = 582{,}28 \frac{2 \cdot 0{,}5}{0{,}35} = 1663{,}64 \ Нм;$$

При движении без груза:

$$M_{РОДИН2} = J_{РО2}\frac{2a}{D} = 459,78\frac{2\cdot 0,5}{0,35} = 1313,66\ Нм;$$

Полный момент рабочей машины найдём по формуле (7):

$$M_{РО} = M_{РОСТ} + M_{РОДИН}\ . \qquad (7)$$

Первый участок – разгон лифта при подъёме груза:

$$M_{РО1} = M_{РОСТ1} + M_{РОДИН1} = 3596,61 + 1663,64 = 5260,25\ Нм;$$

Второй участок – равномерное движение лифта с грузом:

$$M_{РО2} = M_{РОСТ1} = 3596,61\ Нм;$$

Третий участок – торможение лифта при подъёме груза:

$$M_{РО3} = M_{РОСТ1} - M_{РОДИН1} = 3596,61 - 1663,64 = 1932,97\ Нм;$$

Четвертый участок – время паузы:

$$M_{РО4} = 0\ Нм.$$

Пятый участок – разгон лифта при опускании клети:

$$M_{РО5} = M_{РОСТ2} + M_{РОДИН2} = 3562,28 + 1313,66 = 4875,94\ Нм;$$

Шестой участок – равномерное движение лифта без груза:

$$M_{РО6} = M_{РОСТ2} = 3562,28\ Нм;$$

Седьмой участок – торможение лифта при опускании клети:

$$M_{РО7} = M_{РОСТ2} - M_{РОДИН2} = 3562,28 - 1313,66 = 2248,62\ Нм.$$

По рассчитанным значениям моментов на каждом участке можно найти среднеквадратичное значение момента:

$$\mathrm{M_{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{K-1}^{m} \mathrm{M_K^2 \cdot t_K}}{\sum_{K-1}^{m} \mathrm{t_K}}}. \qquad (8)$$

где $\mathrm{M_K}$ – момент на К-м участке, $Нм$; t_K – длительность К-го участка, с.

Получаем значение момента:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{5260,25^2\cdot 0,5 + 3596,61^2\cdot 35,5 + 1932,97^2\cdot 0,5 + 4875,94^2\cdot 0,5 + 3562,28^2\cdot 35,5 + 2248,62^2\cdot 0,5}{0,5 + 35,5 + 0,5 + 0,5 + 35,5 + 0,5}} =$$

$$= 3588\ Нм.$$

Тогда мощность двигателя определяется по формуле:

$$\mathrm{P_{ДВ}} = k_1 \cdot M_{\mathrm{СРКВ}} \cdot \frac{2\cdot v}{D} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{ПВ_Ф}}{\mathrm{ПВ_{КАТ}}}} = 1,5 \cdot 3588 \cdot \frac{2\cdot 0,25}{0,35} \cdot \sqrt{\frac{60,83}{40}} = 9481,45\text{кВ}\ . \qquad (9)$$

где k_1 =1.3…1.5 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, то есть двигателем, редуктором, а также потери в редукторе;

$D_б$ – диаметр колеса тележки, м;

v_0 – основная скорость движения, м/с;

$ПВ_ф$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода

$$ПВ_Ф = \frac{1}{t_Ц} \cdot \sum_{K-1}^{m} t_K \cdot 100\% . \qquad (10)$$

В соответствии с формулой (10)

$$ПВ_Ф = \frac{1}{120} \cdot 73 \cdot 100\% = 60{,}83.$$

$ПВ_{кат}$ – ближайшее к $ПВ_ф$ в каталоге значение продолжительности включения для двигателей нужной серии. Значение ПВ рассчитаем, если знать продолжительность времени работы t_K на всех участках движения:

$$t_o = \frac{360}{z}, \qquad (11)$$

где z = 30 число циклов работы машины в час.

$$t_ц = \frac{3600}{30} = 120 \text{ с} .$$

Краново-металлургический ряд двигателей ПВ: 15, 25, 40, 60, 100%. Выбираем ближайшее меньшее ПВ, то есть $ПВ_{кат}$=40.

3.2 Выбор двигателя

Выбоать вид тока и типа электропривода нужно производить при рассмотрении и сравнении технико-экономических показателей нескольких вариантов, которые могут удовлетворить технические требования выбранной рабочей машины. Известные данные и требования, предъявляемые к электроприводу, нужно выбрать такой вариант электропривода, который выполнит требования и будет одновременно максимально экономичным.

При выборе электропривода следует включить:

а) исполнение двигателя;

б) скорость двигателя;

в) мощность и тип двигателя.

Для повторно-кратковременного режима нужно выбрать двигатели данного типа режима. Известные краново-металлургические серии, которые отличаются от промышленный серий:

– усиляют быстронагревающиеся части;

– снижены моменты инерции из-за уменьшения диаметров ротора (якоря);

– увеличены перегрузочные способности в 3…4 от номинальных значений.

Двигатели – типа *MTF(H)* с переменным током, имеют способ нормировки, который в каталоге указывается доп.нагрузка на валу двигателя $ПВ_{КАТ}$=15, 25, 40, 60, 100%.

Для двигателей краново-металлургической серии, работающих в повторно-кратковременном режиме, номинальными данными (P_H, ω_H, I_H и т.д.) являются каталожные данные при $ПВ_{КАТ}$ = 40%. Эти данные используются в дальнейших расчетах характеристик и переходных режимов электропривода.

Выбираем асинхронный двигатель для работы с ПЧ

Технические данные асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором *MTKF(H)160L6* представлены в таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Технические характеристики двигателя *MTKF(H)160L6*

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
Pн	Мощность на валу номинальная	кВт	11
nн	Частота вращения номинальная	об/мин	910
I1н	Ток статора номинальный	А	29
cos φн	Коэффициент мощности в номинальном режиме	-----	0,76
Iп	Ток пусковой	А	148
Mп	Момент пусковой	Н·м	340
Mмакс	Момент максимальный (критический)	Н·м	395
r1	Сопротивление активное фазной обмотки статора	Ом	0,35
Rкз	Сопротивление активное короткого замыкания	Ом	1,15
Iон	Ток холостого хода для номинального режима	А	20,4
Xкз	Сопротивление индуктивное короткого замыкания	Ом	1,18
Kr	Коэффициент приведения сопротивлений	------	0,695
Jдв	Момент инерции двигателя	кг·м^2	0,23

3.3 Выбор редуктора

Передаточное число определяется по номинальной скорости вращения двигателя и по основной скорости рабочего органа:

$$J_P = \frac{w_H \cdot D}{2 \cdot v_o} = \frac{n_H}{9{,}55} \cdot \frac{D}{2 \cdot v_o} = \frac{910}{9{,}55} \cdot \frac{0{,}35}{2 \cdot 0{,}25} = 66{,}7. \qquad (12)$$

где $\omega_н$ – номинальная скорость вращения двигателя;

D – диаметр шкива, преобразующего вращательное движение вала в поступательное;

v_0 – основная скорость рабочего органа.

Исходя из того, что передаточное число должно ьыть равно или чуть менее полученного из расчетов, при этом должны учесть условие работы механизма, скорость и мощность номинальная.

Данный режим для редуктора считается тяжелым, засчитаем этот коэффициент условий k=1.5. получим расчетную мощность по формуле (13):

$$N_P = k \cdot N_M = 1{,}5 \cdot 7515 = 11270 \text{ Вт}, \qquad (13)$$

где N_M – наибольшая мощность, передаваемая рабочей машиной, Вт.

$$N_M = \text{М}_{\text{РОМАКС}} \cdot \frac{2 \cdot v_o}{D} = 5260{,}25 \cdot \frac{2 \cdot 0{,}25}{0{,}350} = 7515 \text{ Вт}. \qquad (14)$$

По полученной мощности выбираем редуктор [3].

Выбрали редуктор 1ЦЗУ-200.

i_P=64 – передаточное число;

η_P=96% – КПД

3.4 Приведение статических моментов к валу двигателя

приведем статические моменты системы к валу двигателя, воспользовавшись формулой (15)

$$\text{М}_{\text{РС}} = \frac{\text{М}_{\text{РОСТ}}}{j_p}, \qquad (15)$$

где $M_{РОСТ}$ – момент статичский, Нм;

j_P – передаточность редуктора.

Во время подъёма груза:

$$M_{PC1} = \frac{M_{POCT1}}{j_p} = \frac{3597}{64} = 56{,}197 \text{ Нм};$$

Во время спуска кабины:

$$M_{PC2} = \frac{M_{POCT2}}{j_p} = \frac{3562}{64} = 55{,}66 \text{ Нм}.$$

Статический момент в двигательном режиме на валу двигателя:

С грузом:

$$M_{ДВС1} = \frac{M_{PC1}}{\eta_р} = \frac{58{,}54}{0{,}96} = 58{,}54 \text{ Нм}; \quad (16)$$

Без груза:

$$M_{ДВС2} = \frac{M_{PC2}}{\eta_р} = \frac{55{,}66}{0{,}96} = 57{,}98 \text{ Нм}.$$

где η_P – коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

Расчет тормозных моментов :

С грузом:

$$M_{TBC1} = M_{PC1} \cdot \eta_р = 56{,}197 \cdot 0{,}96 = 53{,}95 \text{ Нм}; \quad (17)$$

Без груза:

$$M_{TBC2} = M_{PC2} \cdot \eta_р = 55{,}66 \cdot 0{,}96 = 53{,}43 \text{ Нм}.$$

Энергия поступаемая с вала двигателя и часть теряется в передаче на двигатель.

Статические моменты –рассчитаем для всех участков режима работы:

$$M_c = M_{BC} + M_{XX}. \quad (18)$$

где M_{xx} – момент потерь холостого хода двигателя, Нм.

Принимаем M_{xx} равным 5% от номинального:

$$M_{xx} = \frac{P_н}{n_H} \cdot 9{,}55 \cdot 0{,}05 = \frac{11000}{910} \cdot 9{,}55 \cdot 0{,}05 = 5{,}8 \text{ Нм}. \quad (19)$$

Двигательный режим:

С грузом:

$$M_{ДС1} = M_{ДВС1} + M_{xx} = 58{,}54 + 5{,}8 = 64{,}31 \text{ Нм};$$

Без груза:

$$М_{ДС2} = М_{ДВС2} + М_{хх} = 57{,}98 + 5{,}8 = 63{,}75 \text{ Нм}.$$

Тормозной режим:

С грузом:

$$М_{ТС1} = М_{ТВС1} - М_{хх} = 53{,}95 - 5{,}8 = 48{,}18 \text{ Нм};$$

Без груза:

$$М_{ТС2} = М_{ТВС2} - М_{хх} = 53{,}43 - 5{,}8 = 47{,}66 \text{ Нм}.$$

Полученные результаты внесем в таблицу 3.2 для каждого участка.

3.5 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

Для изменения системы на эквивалентную, требуется привести моменты инерции к валу двигателя.

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{Д} + J_{ПР}, \quad (17)$$

где $J_{ПР}$ – момент поступательного и вращательного частей чистемы к валу двигателя, кг·м^2;

$J_{Д}$ – момент инерции двигателя, кг·м^2;

δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ($\delta = 1.3...1.5$).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{ПР} = \frac{J_{PO}}{J_p^2}. \quad (18)$$

Согласно формуле (17) найдем суммарный приведенный момент инерции:

При движении с грузом:

$$J_1 = 1{,}5 \cdot J_{ДВ} + J_{ПР} = 1{,}5 \cdot J_{ДВ} + \frac{J_{PO}}{J_p^2} = 1{,}5 \cdot 0{,}23 + \frac{582{,}28}{64^2} = 0{,}487 \text{ кг м}^2;$$

При движении без груза:

$$J_2 = 1{,}5 \cdot J_{ДВ} + J_{ПР} = 1{,}5 \cdot J_{ДВ} + \frac{J_{PO}}{J_p^2} = 1{,}5 \cdot 0{,}23 + \frac{459{,}78}{64^2} = 0{,}457 \text{ кг м}^2 .$$

Рассчитанные участки занесены в таблицу 3.2.

Расчет пусковых и тормозных моментов двигателя, которые будут при разгоне и торможении двигателя.

Пусковой момент:

$$М_П = М_С + М_{ДИН}, \quad (19)$$

где $М_С$ – статический момент сопротивления движению, Нм;

$М_{дин}$ – динамический момент, Нм.

Жесткость упругой механической связи приведеную к валу (Спр) находится через значение крутильной жесткости:

$$С_{ПР} = \frac{С_К}{J_p^2} = \frac{50}{64^2} = 0{,}012 . \quad (20)$$

Момент динамический (21):

$$М_{ДИН} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot J_p}{D} . \quad (21)$$

где a – допустимое ускорение при пуске и торможении, м/с^2;

D – диаметр шкива, преобразующей вращение в поступательное движение, м;

J – приведенный момент инерции привода, кг·м^2.

Динамический момент при движении с грузом:

$$М_{ДИН1} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot J_p}{D} = 0{,}487 \cdot \frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot 64}{0{,}35} = 89{,}08 \text{ Нм} ;$$

При движении без груза:

$$М_{ДИН1} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot J_p}{D} = 0{,}457 \cdot \frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot 64}{0{,}35} = 83{,}61 \text{ Нм};$$

Пусковой момент при движении с грузом:

$$М_{П1} = М_{ДС1} + М_{ДИН1} = 64{,}31 + 89{,}08 = 153{,}39 \text{ Нм};$$

При движении без груза:

$$М_{П2} = М_{ДС2} + М_{ДИН2} = 63{,}751 + 83{,}611 = 147{,}36 \text{ Нм};$$

Тормозной момент:

$$|M_Т| = |M_{ДИН}| - M_с\,, \qquad (22)$$

При движении с грузом:

$$|M_{Т1}| = |M_{ДИН1}| - M_{с1} = 89{,}09 - 48{,}18 = 40{,}9 \text{ Нм}\,;$$

При движении без груза:

$$|M_{Т2}| = |M_{ДИН2}| - M_{с2} = 83{,}611 - 47{,}662 = 35{,}95 \text{ Нм}\,.$$

При торможении еще не было выше максимального момента двигателя на участках.

Средний момент при реостатном пуске с грузом (23):

$$M_{ДСР1} = M_{П1} = 153{,}4 \text{ Нм}\,; \qquad (23)$$

Момент реостатный при пуске без груза(24):

$$M_{ДСР2} = M_{П2} = 147{,}36 \text{ Нм}\,.$$

Средний момент динамического торможения с грузом:

$$M_{ТСР1} = \frac{M_{Т1}}{2} = 20{,}45 \text{ Нм}; \qquad (24)$$

Средний момент динамического торможения без груза:

$$M_{ТСР2} = \frac{M_{Т2}}{2} = 17{,}98 \text{ Нм}\,.$$

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_с = \frac{2 \cdot v_o}{D} \cdot J_p = \frac{2 \cdot 0{,}25 \cdot 64}{0{,}35} = 91{,}43\,\frac{\text{рад}}{\text{с}}. \qquad (25)$$

3.6 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву

Проверка двигателя нужно для уточнения нагрузочных диаграмм, диаграммы скорости с учетом момента двигателя

Время переходных процессов для каждого участка (26):

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{СР} - M_с}\,, \qquad (26)$$

где J – приведенный момент инерции системы к валу двигателя, кг·м^2;

ω_C – установившаяся скорость двигателя,1/с;

$M_{СР}$ – средний момент двигателя, Нм;

$М_С$ – приведенный статический момент, Нм.

Первый участок – разгон с грузом:

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{М_{ДСР1} - М_{ДС1}} = 0{,}487 \cdot \frac{91{,}43}{153{,}4 - 64{,}31} = 0{,}5 \text{ с};$$

Третий участок – торможение с грузом:

$$t_3 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{М_{ДСР1} - М_{ТС1}} = 0{,}487 \cdot \frac{91{,}43}{20{,}45 - 48{,}18} = 0{,}649 \text{ с};$$

Пятый участок – разгон без груза:

$$t_5 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{М_{ДСР2} - М_{ДС2}} = 0{,}487 \cdot \frac{91{,}43}{147{,}36 - 63{,}75} = 0{,}5 \text{ с};$$

Седьмой участок – торможение без груза:

$$t_7 = J_2 \cdot \frac{\omega_c}{М_{ДСР2} - М_{ТС2}} = 0{,}487 \cdot \frac{91{,}43}{17{,}975 + 47{,}66} = 0{,}637 \text{ с};$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (27)$$

Угол поворота вала:

За 1-й и 5-й участки:

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega_c \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{91{,}43 \cdot (0{,}5 + 0{,}649)}{2} = 52{,}526 \text{ рад};$$

За 5-й и 7-й участки:

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega_c \cdot (t_5 + t_7)}{2} = \frac{91{,}43 \cdot (0{,}5 + 0{,}637)}{2} = 51{,}974 \text{ рад};$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_П + \alpha_Т)}{\omega_с} \quad (28)$$

где α_Σ – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

$\alpha_П, \alpha_Т$ – углы движения вала пуска и торможения, рад.

Угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения

в данном режиме:

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{J_p}{D} = 2 \cdot 9 \cdot \frac{64}{0{,}35} = 3291 \text{ рад.} \quad (29)$$

В соответствии с формулой (3):

$$t_{\text{УВВЕРХ}} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{1,3}}{\omega_c} = \frac{3291 - 52{,}526}{91{,}43} 35{,}425\ c\ ;$$

$$t_{\text{УВНИЗ}} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{5,7}}{\omega_{\text{с}}} = \frac{3291 - 51{,}974}{91{,}43} = 35{,}432 \text{ с.}$$

Результаты расчета сведены в Таблицу 3.2.

Суммарное фактическое время работы привода:

$$t_{\Phi} = 0{,}5 + 0{,}649 + 0{,}5 + 0{,}637 + 35{,}435 + 35{,}432 = 73{,}143 \text{ с} < t_p = 90\ c.$$

Получили время меньше заданного, значит требуемая производительность выполнена:

$$\text{М}_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{\text{i}=1}^{n} \text{M}_{\text{i}}^2 \cdot \text{t}_{\text{i}}}{\sum_{\text{i}=1}^{n} \text{t}_{\text{i}}}} \leq \text{М}_{\text{ДОП}}. \quad (30)$$

$$M_{СРКВ} = \sqrt{\frac{153{,}39^2 \cdot 0{,}5 + 64{,}31^2 \cdot 35{,}425 + 20{,}452^2 \cdot 0{,}649 + 147{,}36^2 \cdot 0{,}5 + 63{,}75^2 \cdot 35{,}432 + 17{,}975^2 \cdot 0{,}637}{0{,}5 + 35{,}425 + 0{,}649 + 0{,}5 + 35{,}432 + 0{,}637}} =$$

$= 48{,}122$ *Нм.*

Допускаемый момент:

$$\text{М}_{\text{ДОП}} = \text{М}_{\text{КАТ}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\Phi}}} = 115{,}44 \cdot \sqrt{\frac{40}{81{,}27}} = 80{,}998 \text{ Нм.} \quad (31)$$

Фактическое значение ПВ:

$$\text{ПВ}_{\text{ф}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{t_{\text{Ц}}} \cdot 100\% = \frac{73{,}143}{90} \cdot 100\% = 81{,}27\ \%. \quad (32)$$

Момент двигателя при $\text{ПВ}_{\text{кат}}$, ближайшем к $\text{ПВ}_{\text{ф}}$:

$$\text{М}_{\text{КАТ}} = \frac{\text{P}_{\text{Н}} \cdot 9{,}55}{n_{\text{н}}} = \frac{11000 \cdot 9{,}55}{910} 115{,}44 \text{ Нм;} \quad (33)$$

Уменьшаем допустимый момент на 15%:

$$\text{М}_{\text{ДОП15}} = \text{М}_{\text{ДОП}} \cdot 0{,}85 = 68{,}84 \text{ Нм.} \quad (34)$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого (48,122 Нм<68,84 Нм), значит, двигатель проходит по нагреву.

Таблица 3.2 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	Пуск	Уст. режим	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение
t ,с	0,5	35,5	0,5	0,5	35,5	0,5
h ,м	0,0625	8,875	0,0625	0,0625	8,875	0,0625
v ,м/с	---	0,25	---	---	0,25	---
$M_{рост}$,Нм	3596,61	3596,61	3596,61	3562,3	3562,3	3562,3
$J_{рост}$, кг·м²	582,3	582,3	582,3	459,8	459,8	459,8
$M_{родин}$, Нм	1663,6	0	1663,64	1313,7	0	1313,7
$M_{ро}$,Нм	5260,3	3596,6	1933	4875,9	2521	2248,6
$M_{рс}$,Нм	56,197	56,197	56,197	55,7	55,7	55,7
$M_{вс}$,Нм	58,54	58,54	53,95	58	58	53,4
$M_{с}$,Нм	64,31	64,31	48,2	63,8	63,8	47,7
$\omega_{с}$,рад/с	---	91,43	---	---	91,43	---
$J_{пр}$,кг·м²	0,142	0,142	0,142	0,112	0,112	0,112
J ,кг·м²	0,49	0,49	0,49	0,46	0,46	0,46
$M_{дин}$,Нм	89,08	0	89,08	83,6	0	83,6
$M_{допуск}$,Нм	153,4	64,31	40,9	147,4	63,75	35,95
$M_{ср}$,Нм	153,4	64,31	20,45	147,4	63,75	17,98
t ,с	0,5	35,43	0,649	0,5	35,43	0,637
α ,рад	22,86	3238,5	29,67	22,86	3239	29,12

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В промышленно-развитых странах, техника применения частотно регулируемых приводов используется более 30 лет. За это временя

откладывались научные и методические основы, выявлялись и совершенствовались технические средства управления электроприводом, улучшались технологические процессы и оборудование. Накоплен достаточно большой опыт в принятии технических решений при создании систем, использующих этот тип приводов, ряд решений стандартизирован.

Именно такой подход позволяет получить экономический эффект не только от снижения потребляемой из сети электрической мощности, но и добиться существенного уменьшения эксплуатационных расходов, улучшения условий труда и увеличения срока службы оборудования. Современные преобразователи частоты позволяют получать более 20 параметров состояния электропривода. Соответствующая обработка этих параметров позволяет проводить глубокое диагностирование, как оборудования системы, так и протекающих процессов. Появляется возможность не только реагировать на возникшую аварию, но и предупреждать еѐ, что для энергетических объектов значительно важнее.

Созданные системы с частотно- регулируемыми приводами, в которых управление частотой осуществляется наряду с контролем целого комплекса различных технологических параметров, позволяет снизить не только потребление электрической энергии.

Эффективность замены устаревших технических систем новыми определяется, прежде всего, экономической эффективностью, которая может быть получена в результате уменьшения эксплуатационных затрат. В условиях производства используют два варианта реконструкции путем замены нерегулируемого электропривода регулируемым, путем замены регулируемого электропривода более современным. В каждом варианте можно получить экономию на потребляемой энергии и экономию на ремонтах.

Кроме активной энергии электропривод способен потреблять и реактивную. Причем, эти составляющие учитываются счетчиками и за обе

нужно платить. Поэтому, сравнивая варианты привода необходимо учесть возможность уменьшения реактивной мощности.

Реактивная мощность, потребляемая электродвигателем, подключенным к питающей электросети без преобразователя, связана с процессом создания магнитного поля в рабочем зазоре и магнитных полей рассеяния. Магнитное поле рабочего зазора практически постоянно и значительно превышает по величине изменяющиеся поля рассеяния. Поэтому затраты энергии на создание магнитных полей можно принять постоянными. Частотно-регулируемый электропривод с промежуточным звеном постоянного тока такую мощность не потребляет.

Сравнивая варианты, стоит отметить, что использование регулируемых резисторов в роторе требует использования электродвигателя с фазным ротором. Скользящий контакт ротора обычно является источником неплановых отказов, а пускорегулирующая аппаратура требует постоянного обслуживания и ремонта. Поэтому частотно-регулируемый привод имеет не только энергетические, но и эксплуатационные преимущества.

Экономию на ремонтах можно оценить по стоимости среднего количества незапланированных ремонтов из-за неблагоприятного характера процессов пуска и торможения. Например, при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью в сотни киловатт (привод компрессора или транспортера) возникает проблема защиты от действия больших (>1000 А) пусковых токов. Такие токи:

– вызывают нежелательные механические усилия, местные перегрузки элементов по механическому износу и нагреву;

– сокращают срок службы изоляции вибрирующих проводников, механической и электрической части коммутационных аппаратов создают дополнительные потери напряжения в питающей сети, которые могут стать причиной нежелательных защитных отключений участков электроснабжения с другими потребителями.

Для уменьшения количества сложных пусковых режимов в условиях эксплуатации создают условия непрерывной многосуточной работы, что приводит к непроизводительному расходу всех видов электрической энергии. Привод с плавным экономичным регулированием скорости и ускорения позволяет исключить подобные проблемы.

Предлагаемый частотно регулируемый электропривод, асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и инвертором напряжения на базе широтно-импульсных модуляторов имеет ряд технических и эксплуатационных преимуществ:

– обеспечивается уменьшение потребляемой активной электрической энергии до 65% при глубине регулирования производительности до 0,5;

–на входе установлен нерегулируемый сетевой выпрямитель и поэтому привод потребляет из питающей сети практически активную энергию. Реактивная энергия, необходимая для работы асинхронного двигателя, создается и циркулирует внутри привода между накопительным конденсатором сетевого выпрямителя и обмотками двигателя через инвертор. Счетчиком реактивной энергии она не учитывается;

–потери энергии на нагрев минимальны, так как: электродвигатель работает в условиях естественной характеристики без добавочных сопротивлений в цепи ротора;

–нет искажений формы тока двигателя и связанных с ними потерь активной мощности (до 15%);

–потери мощности на элементах преобразователя весьма невелики (КПД преобразователя достигает значений 0,97-0,98);

–инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией на частоте

5-10 кГц позволяет формировать практически синусоидальное напряжение регулируемой частоты и амплитуды. В результате обеспечиваются

устойчивый режим вращения двигателя на малых скоростях и плавный пуск с заданным ускорением;

–малая мощность и габариты системы управления позволили использовать встроенную микро-ЭВМ, которая значительно упростила наладку и переналадку системы, увеличила надежность системы расширением диагностических функций;

–электроприводы выпускаются серийно, не содержат компонентов, за которыми нужен постоянный оперативный контроль, требуют минимальных затрат на эксплуатацию (осмотры, наладку, ремонт).

–На основании исходных данных и требований, предъявляемых электроприводу, нужно выбирать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования и быть одновремено максимально экономичным. Всегда существовала потребность в регулировании скорости двигателей, чтобы было удобно управлять технологическим процессом. Раньше это делалось механически, например, с помощью механического вариатора. Благодаря большим преимуществам электроники возможны более универсальные приложения и общие понятия современного привода. Раньше для решения задачи регулирования скорости использовались только приводы постоянного тока. Теперь асинхронные приводы становятся все более популярными с каждым днем. Они состоят из преобразователя частоты и асинхронного двигателя. Причины этого развития следующие:

– Асинхронные машины нетребовательны к техобслуживанию;

– Возможно эксплуатирование во взрывоопасной зоне;

– Высокий коэффициент мощность/масса для асинхронного двигателя;

– Возможность управления при максимальной скорости;

– Низкая стоимость асинхронных двигателей;

– Постоянное улучшение технологии преобразователя с одновременным понижением цены.

5 ВЫБОР РОДА ТОКА, ТИПА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АГРЕГАТА

5.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода

Выбор рода тока и типа электропривода, нужно на основе сравнения технико-экономических показателей рассмотрев показатели нескольких вариантов, позволяющих выбрать по техническим требованиям данной машины.

Исходя от данных и требований, предъявляемые к электроприводу, выбор останавливается на электроприводе, с полной возможностью выполнить требования и так же быть максимально экономичным.

Для механизмов, которые не требуют регулирование частоты и скорости вращения, любой мощности, можно выбирать электродвигатели СД или АД с КЗ ротором.

Для механизмов тяжелого пуска, работы с требованием изменением частоты вращения, требуется выбирать электродвигатели с наиболее простым и экономичным методом пуска или регулирования частоты вращения для этого механизма.

Двигатели с постоянным током применяют исключительно в случае, когда электродвигатели переменного тока не могут обеспечить нужных характеристик механизма или не экономичный.

Выбор типа электродвигателя, для нерегулируемого привода проще. Т.к. двигатели переменного тока сами по себе проще по конструкции, обслуживание обходится меньшими затратами, и общая стоимость становится низкой. В повторно-кратковременных режимах с частыми пусками и торможениями нужно выбирать двигатели с повышенным скольжением.

Если привод нужен регулируемый, то выбор типа привода усложняется. В зависимости от диапазонов и плавности регулирования скорости, требования

к качеству переходных процессов возможность применять как системы реостатного регулирования, так же и системы с индивидуальными преобразователями.

В углубленном регулировании скорости, вопрос решается обычно в сторону приводов постоянного тока. Хоть и конкурентными по своим свойствам являются приводы с частотным и частотно-токовым управлением. К достоинствам приводов с АД – конструктивная простота и высокая надежность и ресурс.

Сложность системы управления препятствует быстрому внедрению частотно регулируемых приводом, что приводит к недостаточной надежности работы, повышение стоимости. С приходом микропроцессорного управления электропривода повысилась надежность, но стоимость их не снижается.

На данном этапе требований, предъявляемых к электроприводу, осуществлен выбор рода тока и типа электропривода. Обоснован выбор системы привола, приняты с обоснованием способы регулирования скорости, пуск и торможение электропривода.

Выбор системы определил главное направление дальнейших расчетов.

Электродвигатель получает питание от индивидуального преобразователя частоты.

5.2 Выбор двигателя

Выбор двигателя для проектируемого электропривода включает в себя:

– выбор конструкции (исполнения) двигателя;

– выбор двигателя по скорости;

– выбор типа и мощности двигателя.

5.2.1 Выбор двигателя по конструктивному исполнению

Выбор заключается:

– в применении в проектируемом электроприводе двигателя, подходящего по способу защиты от воздействия окружающей среды (закрытый, защищенный и т.д.);

– способу вентиляции (с самовентиляцией, с независимой вентиляцией и т.д.);

– по наличию или отсутствию встроенного тахогенератора и другим конструктивным особенностям, которые указываются в каталогах и справочниках электрических машин.

5.2.2 Выбор двигателя по скорости

Выбор обязан быть при известной кинематической схеме рабочей машины обеспечить необходимые скорости технологического процесса. При этом предварительно должен быть намечан способ регулирования скорости двигателя, обеспечивающий наилучшие технико-экономические показатели.

Если рабочий ход исполнить на естественной характеристике, то возвратный ход выполниться на более высокой скорости – в режиме ослабления поля. Система электропривода должна обеспечивать двухзонное регулирование скорости.

Если на естественной характеристике выполнить возвратный ход, то рабочий ход должен выполняться на пониженной скорости при снижении напряжения (или частоты).

Основной скоростью движения электропривода будем называть скорость на естественной механической характеристике при номинальных напряжении, частоте, потоке двигателя. Это условие определит в дальнейшем расчетную мощность двигателя.

5.4 Выбор преобразователя частоты

Для регулирования скорости двигателя выберем преобразователь частоты.

По каталогу [2] выбрали асинхронный регулируемый транзисторный электропривод Триол АТО5 – 015 – высокодинамичный низковольтный электропривод, позволит реализовать четырех-квадратное управление приводным АД, а так же рекуперативное торможение с возвратом энергии в потребляемую сеть.

Электпрпривод выполнен на базе двухзвенного ПЧ с транзисторным (IGBT) автономным инвертором напряжения (АИН) с широтно-импульсным (ШИМ) управлением и многофункциональной микропроцессорной системой управления с развитым интерфейсом.

Электропривод АТО5 оснащен защитой от нештатных и аварийных режимов:

–от неполный работой фаз сети и двигателя;

– от токовых перегрузки и КЗ, а так же КЗ на «землю»;

– от превышения напряжения на силовых элементах;

– от исчезновения и отклонения напряжения питающей цепи;

– от неисправности в узлах и блоках электропривода.

На некоторых объектах с чувствительными к радиопомехам устройств автоматики, создаваемых преобразователем АТО, устанавливают блок БФ1 входного фильтра.

Датчики ДТ и напряжения ДН в служат для контроля, регулирования и изменения электрических параметров электропривода, так же для защиты от

токов перегрузки и КЗ, недопустимых отклонений напряжения.

Система управления электроприводом имеет два принципиально различных режима работы:

– ручной, в котором осуществляется прямое задание выходной частоты преобразователя;

– автоматический, предполагающий работу в замкнутой системе с обратной связью по техническому параметру с ПИД-регулятором.

Система управления предусматривает настройку привода в полном объеме с местного ПУ, дистанционного пульта или АСУТП как при накладке, так и при работе на производственном объекте.

Технические данные преобразователя АТО5 - 015:

Питающая сеть……. .3х380 *В* (+10%, –15%),

Выходное напряжение …….3х (0…220 *В* ± 2%)

Выходная частота …….0…400 Гц ± 0,05%

Ток перегрузки ……..1,5· *I*н в течение 60 с

КПД (без двигателя)……...….. 0,95

Коэффициент мощности (сети) ……....0,95

Полная мощность …….18 *к*Вт

Номинальная мощность двигателя ……15 *к*Вт

Номинальный ток нагрузки *I*н……. 30 *А*

На рисунке 5.1 приведена схема силовых цепей преобразователя.

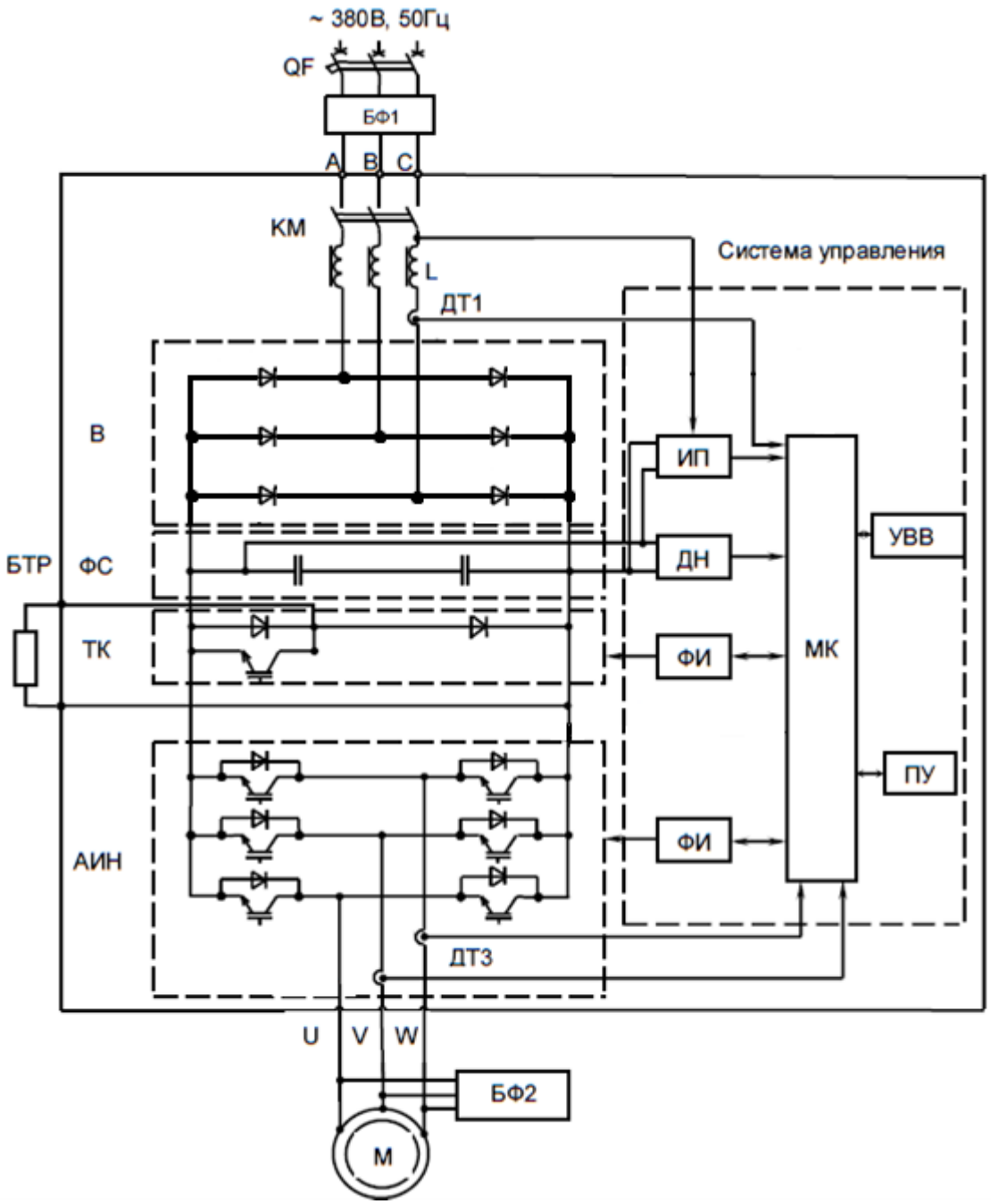


Рисунок 5.1 – Схема силовых цепей и функциональная схема управления электропривода АТО5

6 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУЗОВОГО ЛИФТА

6.1Функциональная схема электропривода

На рисунке 6.1 представлена функциональная схема электропривода переменного тока с АИН [4]. Силовая часть схемы включает в себя трехфазный неуправляемый выпрямитель (НВ), емкостной фильтр Ф; устройство торможения (УТ), выполненного на *IGBT*-транзисторе *VT7*, резисторе *RT* и датчике напряжения *UV1*; силовой автономный инвертор напряжения, выполненный на *IGBT*–транзисторах со встречно паралельными диодами; асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

АИН преобразует нерегулируемое напряжение на выходе неуправляемого выпрямителя и фильтра в регулируемое синусоидальное напряжение.

Система управления преобразователем (СУП) (см. рисунок. 8.1) состоит из следующих блоков: задатчика интенсивности; функционального преобразователя ФП, который сохраняя перегрузочную способность задает соотношение между заданиями частоты и напряжения, с которым получается компенсация падения напряжения на активном сопротивлении статора. Первую координату выбираем с учетом уменьшения охлаждения двигателя из условий ограничения тока статора (0,7…0,8)$I_{ном}$, что соответствует приU_{f1}=0 установке U_1≅(0,7–0,8)$I_{ном}R_1$, вторая координата определяет задание минимального значения частоты и напряжения, при которых еще сохраняется равенство соотношений $U_1/f_1=U_{1ном}/f_{1ном}$ (для АД общего назначения в разомкнутой системе занчение минимальной частоты выбирается (0,3-0,4)$f_{1ном}$); блока векторной ШИМ, формирующего широтно-импульсный сигнал; драйверов, работающих как усилители мощности, для открытия транзисторов, и обеспечивающих защиту от сквозных токов, гальваническую развязку; релейного элемента РЭ с гистерезисной характеристикой для управления тормозным транзистором *VT*7.

Торможение электропривода происходит в импульсном режиме. При переходе двигателя в генераторный режим энергия, накопленная в

индуктивностях фаз статорных обмоток, через обратные диоды передается в емкостной накопитель (конденсатор) Сф Это вызывает рост напряжения в звене постоянного тока, которое фиксируется датчиком напряжения *UV*1 (см. рис. 6.1). Как только напряжение на конденсаторе Сф станет больше напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя НВ или достигнет верхнего порога срабатывания РЭ, открывается транзистор *VT*7, и электрическая энергия рассеивается на тормозном резисторе RT. Транзистор *VT*7 выключается при достижении напряжения на емкости Сф нижнего порога переключения РЭ. Таким образом, частота включения тормозного транзистора *VT*7 зависит от интенсивности торможения электропривода и заданных порогов переключения РЭ, другими словами силовой ключ *VT*7 работает в режиме ЧШИМ.

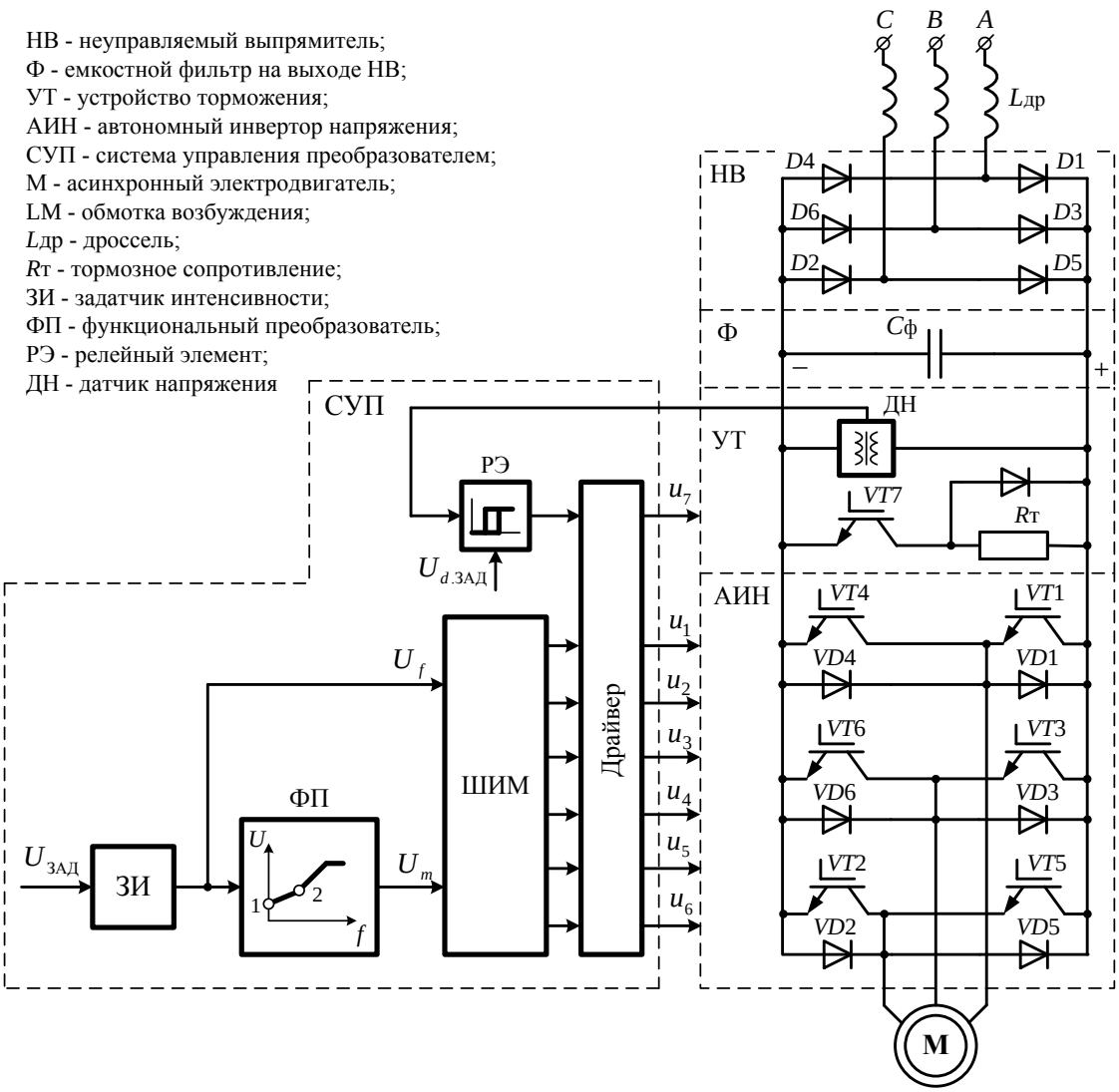


Рисунок 6.1 – Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты с неуправляемым выпрямителем и автономным инвертором напряжения с векторной системой управления

7 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

7.1 Расчёт естественных и искусственных механических характеристик электродвигателя

Задачей расчета является обеспечение технологических задач, вложенных в требование к электроприводу. Технологическая скорость рабочего органа и обратного хода в режиме, когда привод установится, пониженная скорость при начале движения и торможении рабочего органа, должна быть с заданной степенью точности.

Расчет базовых величин параметров двигателя:

Номинальное фазное напряжение$U_{1Н}$=220 В;

Номинальная частота $f_{1Н}$=50 Гц;

Номинальный ток статора $I_{1Н}$=29 А;

Синхронная скорость вращения $\omega_{0Н}$:

$$\omega_{0Н} = \frac{2\cdot\pi\cdot f_{1н}}{p} = \frac{2\cdot 3{,}14\cdot 50}{3} = 104{,}72\,\frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (35)$$

Номинальный момент на валу $М_Н$:

$$М_Н = \frac{Р_Н}{\omega_Н} = \frac{11000}{95{,}228}\,115{,}44\ \text{Нм}. \quad (36)$$

Найдем частоту *f1* и напряжение на статоре *U1*, при которых механические характеристики будут проходить через точки в установившемся режиме, в режиме подъема лифта с грузом:

Заданные точки в о.е.:

$$\overline{М}_{ЗАД} = \frac{М_{ЗАД}}{М_Н} = \frac{64{,}31}{115{,}44} = 0{,}557; \quad (37)$$

$$\overline{\omega}_{ЗАД} = \frac{\omega_{ЗАД}}{\omega_{0Н}} = \frac{91{,}43}{104{,}72} = 0{,}873.$$

Приращение скорости в о.е.:

$$\overline{\omega}_{0ЗАД} = \overline{\omega}_{ЗАД} + S_H \cdot \overline{M}_{ЗАД} = 0{,}873 + 0{,}09 \cdot 0{,}557 = 0{,}923$$

Значения частоты и напряжения в заданной точке:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \overline{\omega}_{\text{ЗАД}} = 0{,}923;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0{,}923 \cdot 50 = 46{,}163 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0{,}923 \cdot 220 = 203{,}119\ B.$$

Еще нужно рассчитать значения частоты и напряжения в заданных точках, в работе лифта вниз без груза. Внесем полученные данные в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Расчетные параметры для построения статических характеристик.

Расчетные параметры		Скорость при движении	
		с грузом	без груза
Заданные точки			
$\omega_{ЗАД}$	рад/с	91,43	91,43
	о.е.	0,873	0,873
M_C	Нм	64,31	63,75
	о.е.	0,557	0,552
Расчетные данные			
$\omega_{ОЗАД}$	о.е.	0,923	0,923
f_1	Гц	46,163	46,142
U_1	В	203,119	203,023

По данным которые мы получили, можно построить механические и электромеханические характеристики двигателя в заданных точках.

Расчеты производятся в компьютерной программе *Matlab «haradkz.m»*.

Полученные характеристики изображены на рисунке 7.1.

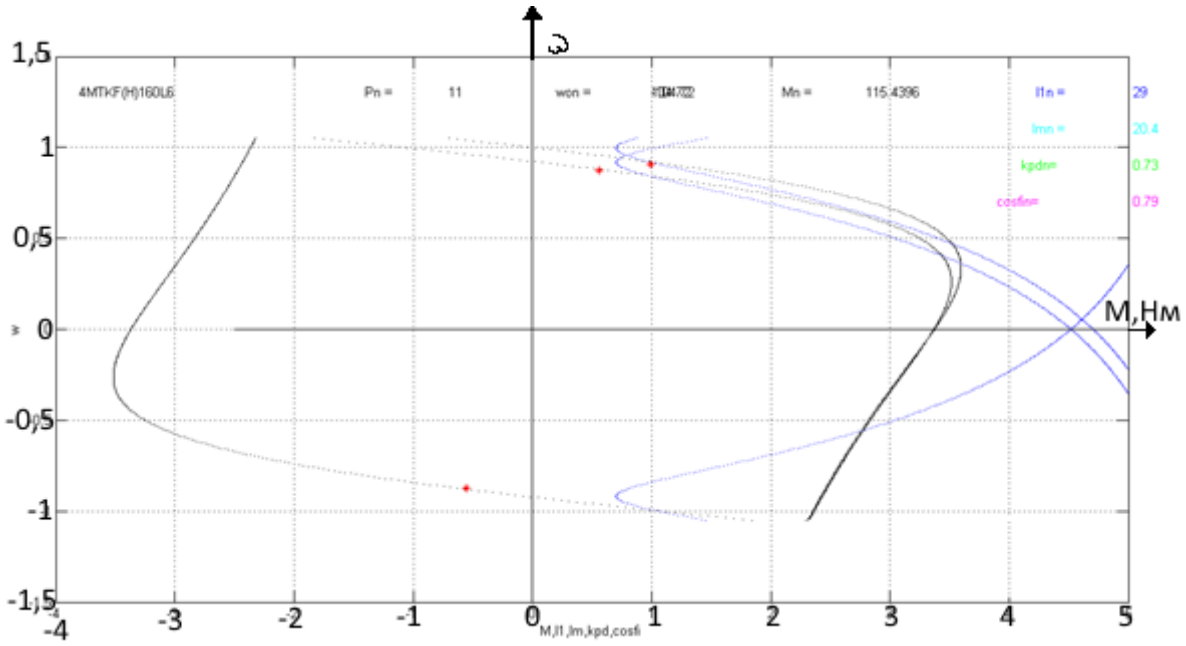


Рисунок 7.1 – Естественная и при движении с грузом и без груза механическая и электромеханическая характеристики

Показатели двигателя в заданных точках представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Показатели двигателя в заданных точках

Параметр	Движение с грузом	Движение без груза
$\omega_{зад}$, рад/с	95,42	95,92
M, Нм	64,49	63,797
f_1, Гц	45,56	45,8

Обеспечив технологические задачи, заложенные в требования к электроприводу. Обеспечив технологические скорости рабочего органа и обратного хода в установившемся режиме при подъеме и спуске лифта вниз.

7.2 Расчет переходных режимов

Расчет переходных режимов необходим для:

а) определения времени и характера их протекания;

б) оценки их соответствия требованиям технологического процесса рабочего органа;

в) оценки механических и электрических перегрузок;

г) правильности выбора мощности двигателея, преобразователей и аппаратуры управления.

С изменением управления возмущающих воздействий возникают переходные процессы электропривода.

Влияние на характер переходного процесса может оказать влияние механической инерции электропривода, жесткость механической передачи, электромагнитная инерция обмоток двигателя и элементов преобразователя.

Режимы пуска различаются в зависимости от требований, предъявляемых к электроприводу:

В зависимости от требований, предъявляемых к электроприводу, различают режимы пуска:

–форсированный, в этот режим время пуска минимально, а максимальный момент двигателя при пуске равный максимальному допустимому;

–нормальный, в этом режиме пуск не ограничивается, а величина момента двигателя, на участках пуска не должна быть меньше момента сопротивления;

Обеспечивая допустимое ускорение $a_{ДОП}$ заданное при пуске, в котором динамический момент двигателя ограничивается. Ускорение электропривода не должно быть больше допустимых значений,

Из рассмотренных режимов воспользуемся режимом пуска с ограничением ускорения электропривода, т.к. два других режима считаются граничными.

Если двигатель питается от индуктивного преобразователя, есть возможность плавного регулировать напряжение (частоты), и переходные процессы пуска и торможения получатся сформировав напряжение управления преобразователем.

Что бы формировать по линейному закону изменения напряжения управления, нужно подулючить задатчик интенсивности на вход преобразователя.

Базовую постоянную ЗИ можно определить по формуле:

$$\text{Т}_{\text{ЗИ}} = \frac{\omega_{\text{ОН}}}{\varepsilon_{\text{о}}} = \frac{J \cdot \omega_{OH}}{M_{\text{дин}}} = \frac{\text{Т}_{\text{Д}}}{\text{М}_{\text{дин}}}, \quad (38)$$

$$\text{Т}_{\text{Д}} = J \cdot \frac{\omega_{OH}}{\text{М}_{\text{Н}}}, \quad (39)$$

где $\text{Т}_{\text{Д}}$ – механическая постоянная времени, с;

$\bar{M}_{ДИН}$ – относительное значение динамического момента двигателя.

При движении с грузом:

$$\text{Т}_{\text{ЗИ1}} = \frac{\omega_{\text{ОН}}}{\varepsilon_{\text{о}}} = \frac{J_1 \cdot \omega_{OH}}{M_H} \cdot \frac{M_H}{\text{М}_{\text{ДИН1}}} = \frac{0{,}487 \cdot 104{,}72}{115{,}44} \cdot \frac{115{,}44}{89{,}08} = 0{,}573\ c;$$

При движении без груза:

$$\text{Т}_{\text{ЗИ2}} = \frac{\omega_{\text{ОН}}}{\varepsilon_{\text{о}}} = \frac{J_2 \cdot \omega_{OH}}{M_H} \cdot \frac{M_H}{\text{М}_{\text{ДИН2}}} = \frac{0{,}457 \cdot 104{,}72}{115{,}44} \cdot \frac{115{,}44}{83{,}611} = 0{,}573\ c.$$

Далее воспользуемся программой *Matlab «zipchad.m»* для расчета и построения переходных характеристик пуска и торможения при движении лифта.

Построенные характеристики в *Matlab «zipchad.m»* представлены на рисунках 7.2. – 7.3.

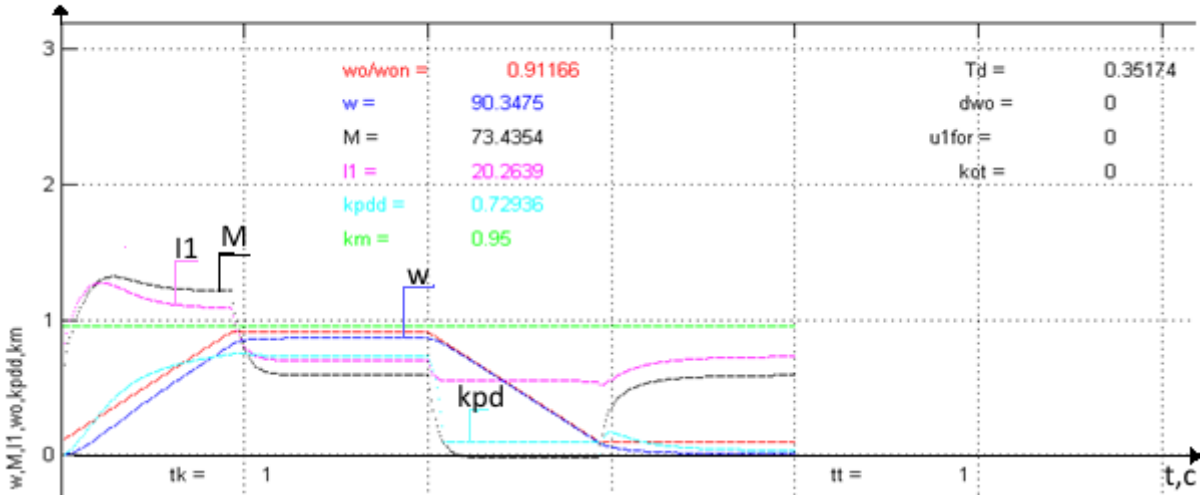


Рисунок 7.2 – Нагрузочная диаграмма при подъеме лифта с грузом

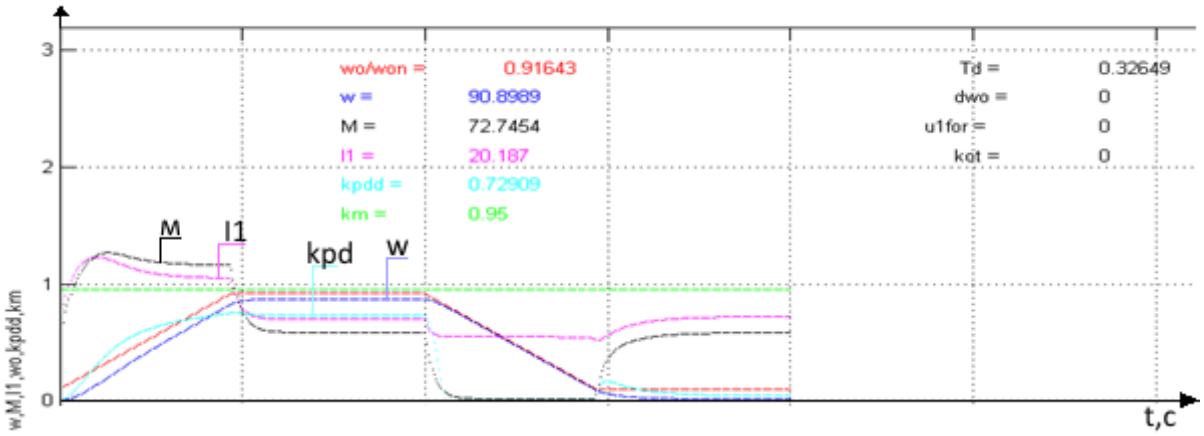


Рисунок 7.3 – Нагрузочная диаграмма при движении лифта вниз без груза

7.3 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя

После того как рассчитали нагрузочные диаграммы в программе *Matlab «zipchad.m»* требуется выполнить несколько дополнительных расчетов, что бы получить ответы на вопросы технологического задания на проектирование – соответствие результатов расчетов выданному заданию и современному состоянию электропривода, в том числе и мировому.

В проверке перегрузочной способности изучают нагрузочные диаграммы и отмечают максимальные значения тока и момента двигателя, эти значения сравнивают с допустимыми значениями для выбранного двагателя и преобразователя.

АД считается пройденным проверку по перегрузочной способности, только если максимальный момент двигателя нагрузочной диаграммы меньше критического момента двигателя.

$$\mathrm{M}_{\text{МАКС}} = 1{,}25 \cdot \mathrm{M}_{\text{Н}} = 1{,}25 \cdot 115{,}44 = 144{,}3 \text{ Нм} < M_K = 395 \text{ Нм}.$$

Тиристорный преобразователь считается прошедшим проверку, если максимальный ток двигателя не превышает максимальный допустимый ток, по паспорту преобразователя.

$$I_{\text{МАКС}} = 1{,}2 \cdot I_{1H} = 1{,}2 \cdot 30 = 36\ A.$$

Мы видим, что выбранная система прошла проверку на перегрузочную способность.

Проверим на заданную производительность.

Угол поворота вала двигателя:

$$\alpha(t) = \int_0^t \omega(t)dt. \qquad (40)$$

При подъеме:

$$\alpha_{\text{П}} = 67{,}26 \text{ рад};\ \alpha_{\text{Т}} = 25{,}63 \text{ рад};$$

При движении вниз:

$$\alpha_{\text{П}} = 67{,}86 \text{ рад};\ \alpha_{\text{Т}} = 25{,}76 \text{ рад}.$$

где $\alpha_П$ – угол поворота вала двигателя за время пуска *tk*,

$\alpha_Т$ – угол поворота вала двигателя за время торможения *tt*.

Определим время работы в установившемся режиме по соотношению:

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_П + \alpha_Т)}{\omega_С}, \tag{41}$$

где $\alpha_\Sigma = j_P \cdot 2 \cdot L / D = 64 \cdot 2 \cdot 9 / 0,35 = 3291$ *рад* - угловой путь, проходимый валом двигателя на участке движения.

При подъеме:

$$t_{y1} = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_П + \alpha_Т)}{\omega_С} = \frac{3291 - (67,26 + 25,63)}{90,35} = 35,4\ c;$$

При движении вниз:

$$t_{y2} = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_П + \alpha_Т)}{\omega_С} = \frac{3291 - (67,86 + 25,76)}{90,89} = 35,18\ c.$$

После того как рассчитали времена переходных процессов, на всех участках движения и расчета времени, установившегося движения в течении цикла работы, находится фактическое время работы электропривода в цикле:

$$t_{РФАКТ} = \Sigma\left(tk + tt + t_y\right).$$

При подъеме:

$$t_{РФАКТ1} = \Sigma\left(tk + tt + t_y\right) = 1 + 35,4 + 1 = 37,4;$$

При движении вниз:

$$t_{РФАКТ2} = \Sigma\left(tk + tt + t_y\right) = 1 + 35,18 + 1 = 37,18\ c.$$

Проверка на заданную производительность заключается в сравнении рассчитанного времени работы электропривода *tРФАКТ* в цикле со временем *tP* , заданным в техническом задании на проектирование.

$$t_{ФАКТ} = 37,4 + 37,18 = 74,58\ \text{с} < t_p = 90. \tag{42}$$

Система удовлетворяет требованиям по производительности.

Проверим выбранный двигатель по нагреву методом эквивалентного тока:

$$I_Э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^{n} \beta_i \cdot \Delta t_i}} \le I_{ДОП}, \qquad (43)$$

где I_i – среднеквадратичное значение тока на i-м участке;

Δt_i – длительность i-го участка работы;

β_i – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

$I_{ДОП}$ – допустимый по нагреву ток.

Среднеквадратичный ток на участке интегрирования за время tn:.

$$I_{СРКВ} = \sqrt{\frac{1}{tn} \cdot \int_0^{ti} I_i^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{tn} \cdot \sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot \Delta t_i} \le I_{н\,пр} \qquad (44)$$

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Для двигателя *4MTKF (H)160L6* коэффициент β_0=0,45…0,55. Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи βii ,которому в зависимости от скорости вращения можно присвоить значения. Нагрузочные диаграммы скорости $\omega(t)$ каждого из вариантов работы в цикле разбиваются на участки движения с разными скоростями по таблице 3.1, рассчитываются времена *t02, t08 , t10* работы в цикле с такими скоростями и подставляются в знаменатель формулы (42).

Таблица 3.1. – Время работы при ухудшенном охлаждении

$\overline{\omega}$	<0.2	0.2…0.8	>0.8
βi	βo=0,5	0.75	1
t13	t_{02}=0,16+0,3=0,46	t_{08}=0,28+0,31=0,59	t_{10}=0,138+37,084=37,222
t46	$t_{02=}$0,15+0,28=0,43	t_{08}=0,3+0,34=0,64	t_{10}=0,04+37,065=37,105

$$I_э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^{n} \beta_i \cdot \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{27,263^2 \cdot 1 + 20,264^2 \cdot 35,403 + 18,257^2 \cdot 1 + 26,57^2 \cdot 1 + 20,187^2 \cdot 35,18 + 18,2^2 \cdot 1}{0,55 \cdot (0,46 + 0,43) + 0,775 \cdot (0,59 + 0,64) + 37,222 + 37,1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{30990}{75,77}} = 20,223 \ A,$$

Допустимый по нагреву ток двигателя рассчитывают через каталожный ток *IКАТ* при каталожной *ПВкат*, ближайшей к фактической:

$$I_{доп} = I_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{кат}}{ПВ_{факт}}} = 29\sqrt{\frac{40}{82,9}} = 29 \cdot 0,695 = 20,348 \text{ А},$$

(44)

$$В_{ФАКТ} = \left(\frac{t_{РФАКТ}}{t_{ц}}\right) \cdot 100\% = \left(\frac{78,149}{90}\right) \cdot 100 = 86.$$

$$I_{Э} = 20,233 \text{ А} < I_{ДОП} = 20,348 \text{ А}.$$

Двигатель прошел проверку по нагреву.

Проверка по нагреву преобразователя выполняется сравнением среднеквадратичного тока двигателя за время работы:

$$I_{СРКВ} = \sqrt{\frac{1}{t_P} \cdot \sum_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot \Delta t_i} =$$

$$= \sqrt{\frac{27,263^2 \cdot 1 + 20,264^2 \cdot 35,4 + 18,26^2 \cdot 1 + 26,57^2 \cdot 1 + 20,19^2 \cdot 35,18 + 18,2^2 \cdot 1}{90}} =$$

$$= 18,56 \ A \prec I_{НПР} = 30 \ A.$$

(45)

Преобразователь прошел проверку по нагреву.

8 РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

8.1 Проведем расчет энергетических показателей электропривода.

Характер энергетических показателей электропривода состоит в том, что бы преобразовать энергию системой электропривода (КПД), так же экономичность энергии потребляемой из сети (коэффициент мощности)

Электропривод, работающий в повторно-кратковременном режиме, оценку универсальности энергетических данных считается их средневзвешенные показатели за цикл работы (цикловые значения).

Мгновенные значения КПД и cosφ характеризуют экономию только когда работает в установившемся режиме.

КПД в цикловом режиме является само по себе отношение полученной механической работы за период P_Vк потребленной за цикл электроэнергии (активной энергии) из сети P_c.

$$\eta = \frac{P_v}{P_c} = \frac{\int_0^{t_ц} \mathrm{M_{po}}(t)\cdot\omega_{po}(t)dt}{\int_0^{t_ц} \mathrm{P_c}dt}. \quad (46)$$

Для расчета энергетических показателей воспользуемся результатами расчета переходных процессов в программе *Matlab «zipchad.m»*.

Энергетические показатели режима движения с грузом:

За время разгона при подъеме лифта:

КПД двигателя*:*

$$\mathrm{kpd1} = \frac{\mathrm{Pv1}}{\mathrm{Pd1}} = \frac{6060{,}994}{8533{,}2} = 0{,}71;$$

КПД электропривода:

$$kpdd1 = \frac{Pv1}{Pc1} = \frac{6060{,}994}{9249{,}43} = 0{,}655;$$

Коэффициент мощности электропривода:

$$km1 = \frac{Pc1}{(Pc1^2 + Qc1^2)^{0,5}} = \frac{9249{,}43}{(9249{,}43^2 + 3040{,}14^2)^{0,5}} = 0{,}95.$$

За время торможения при подъеме лифта:

КПД двигателя:

$$kpd3 = \frac{Pv1}{Pd1} = \frac{-37{,}54}{850{,}88} = 0{,}044;$$

Коэффициент мощности эёлектропривода:

$$km3 = \frac{Pc3}{(Pc3^2 + Qc3^2)^{0,5}} = \frac{1406,76}{(1406,76^2 + 462,38^2)^{0,5}} = 0,95.$$

Данные установившегося движения с грузом вынесены на график в рисунках 7.2 и 7.3.

КПД:

$$kpddy1=0,73;$$

Коэффициент мощности:

$$kmy1=0,95.$$

Средневзвешенный КПД за время движения с грузом:

$$\eta_{CPB3B13} = \frac{\eta dd1 \cdot tkk + \eta ddy1 \cdot ty1 + \eta dd3 \cdot tt}{tkk + t_{y1} + tt} =$$

$$= \frac{0,71 \cdot 1 + 0,73 \cdot 35,4 + 0,044 \cdot 1}{1 + 35,4 + 1} = 0,709.$$

Энергетические показатели режима движения без груза:

За время разгона при движении лифта вниз:

КПД двигателя:

$$kpd4 = \frac{Pv4}{Pd4} = \frac{5949,09}{8304,98} = 0,716;$$

КПД электропривода:

$$k[dd4 = \frac{Pv4}{Pc4} = \frac{5949,09}{9003,99} = 0,661;$$

Коэффициент мощности электропривода:

$$km4 = \frac{Pc4}{(Pc4^2 + Qc4^2)^{0,5}} = \frac{9003,99}{(9003,99^2 + 2959,49^2)^{0,5}} = 0,95.$$

За время торможения при движении лифта вниз:

КПД двигателя:

$$kpd6 = \frac{Pv6}{Pd6} = \frac{64,57}{950,8} 0,068;$$

Коэффициент мощности электропривода:

$$km6 = \frac{Pc6}{(Pc6^2 + Qc6^2)^{0,5}} = \frac{1510,53}{(1510,53^2 + 496,49^2)^{0,5}} = 0,95.$$

Данные установившегося движения без груза вынесены на график в рисунках 7,2 и 7,3:

КПД:

$$kpddy2=0,73;$$

Коэффициент мощности:

$$kmy2=0,95.$$

Средневзвешенный КПД за время движения с грузом:

$$\eta_{CPB3B46} = \frac{\eta dd1 \cdot tkk + \eta ddy2 \cdot ty2 + \eta dd3 \cdot tt}{tkk + t_{y1} + tt} =$$

$$= \frac{0,661 \cdot 1 + 0,73 \cdot 35,18 + 0,059 \cdot 1}{1 + 35,18 + 1} = 0,712.$$

Средневзвешенные (цикловые) значения для системы электропривода:

$$\eta_{Ц} = \frac{\sum_{k=1}^{m} \eta_K \cdot t_K}{\sum_{k=1}^{m} t_K} = \frac{\eta_{CPB3B13} \cdot t_{13} + \eta_{CPB3B46} \cdot t_{46}}{t_{13} + t_{46}} = \frac{0,709 \cdot 37,4 + 0,712 \cdot 37,18}{37,4 + 37,18} = 0,71. \quad (47)$$

$$km_{Ц} = 0,95.$$

8.1.1 Система управления трехфазного автономного инвертора напряжения с векторной широтно-импульсной модуляцией

Трехфазный АИН с ШИМ формирует мгновенные значения напряжений (средние за период несущей частоты) на всех трех фазах. Переход между вентилями меняет напряжения на всех трех фазах. Поэтому сложняет алгоритм управления вентилями. Алгоритм возможно упростить, перейдя к формированию пространственного вектора (не временного) внесенного по теории электрических машин, а не формировать фазные напряжения (векторы фазных напряжений). Опираясь на такую теорию, три симметнично фазных напряжения, при отсутствии нулевого провода, способные представить пространственные векторы, определяющие эти напряжения. Такой вектор называется так де обобщенным, результирующим,

коммутирующим вектором. Пространственный вектор $\overline{U}$ находится в плоскости перпендикулярной оси вращения ротора.

Вектор, который находится в плоскости, имеет две координаты. В полярной системе – это модуль U и угол θ, отсчитывающий против часовой стрелки, от полярной оси до направляющего вектора. В системе координат прямоугольной формы, вектор будет выражаться проекциями на векторную ось α и мнимую ось β.

Вещественную ось принято совмещать с осью фазы «*A*». получим для фазы «*A*»угол $\theta = 0$. И для произвольного угла за период несущей частоты вектор $\overline{U}$ будет записываться так:

$$\overline{U} = U\angle\theta = U_\alpha + jB_\beta. \quad (48)$$

Бывает, что значения фазных напряжений известные, тогда пространственный вектор находится геометрическим суммированием мгновенных значений, направленные по осям фазных обмоток (сдвинутые на 120 град.), с последующим умножением на 2/3.

$$\overline{U} = \frac{2}{3}(u_A + au_B + a^2u_c), \quad (49)$$

где – *a* оператор поворота на 120 град.

$$a = -0{,}5 + j\frac{\sqrt{3}}{2} = \exp(j\frac{2\pi}{3} = \angle 120°. \quad (50)$$

Проецирование векторов, на фазы осей дают мгновенные данные фазных напряжений.

Выражение будет считаться верным, если в трехфазной системе не будет нулевого провода и является равенством нулю полученных мгновенных значений фазных напряжений.

$$u_A + u_B + u_C = 0. \quad (51)$$

Рассмотрим примеры.

На рис. 8.2а привели расчетную схему состояния 1, если вентили *V*1, *V*2,*V*6 проводят (см. рис. 8.1). И в это время фаза *A* соединена с шиной «+», а фазы *B*, *C* с шиной «–». Возьмем для примера напряжение U_d = 300 В.

Далее $u_A = 200\,\text{В}$, $u_B = -100\,\text{В}$, $u_C = -100\,\text{В}$ (см. рис. 8.2 б). Полученная сумма напряжений с множителем 2/3 (см. рис. 8.2 б – в)

$$U = \frac{2}{3}\left(200 + \left(-0{,}5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(-100) + \left(-0{,}5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(-100)\right) = 200\angle 0°.$$

Получим исходные мгновенные данные напряжений проекций вектора на оси обмоток:

$$u_A = Ucos\theta = 200\ \text{В},$$

$$u_B = Ucos(120° - \theta) = -100\ \text{В},$$

$$u_C = Ucos(240° - \theta) = -100\ \text{В}.$$

На рис. 8.2г выведена расчетная схема для состояния 2, во время работы вентилей *V*1, *V*2, *V*3, а на рис. 8.2 д, е – видно состояние построения.

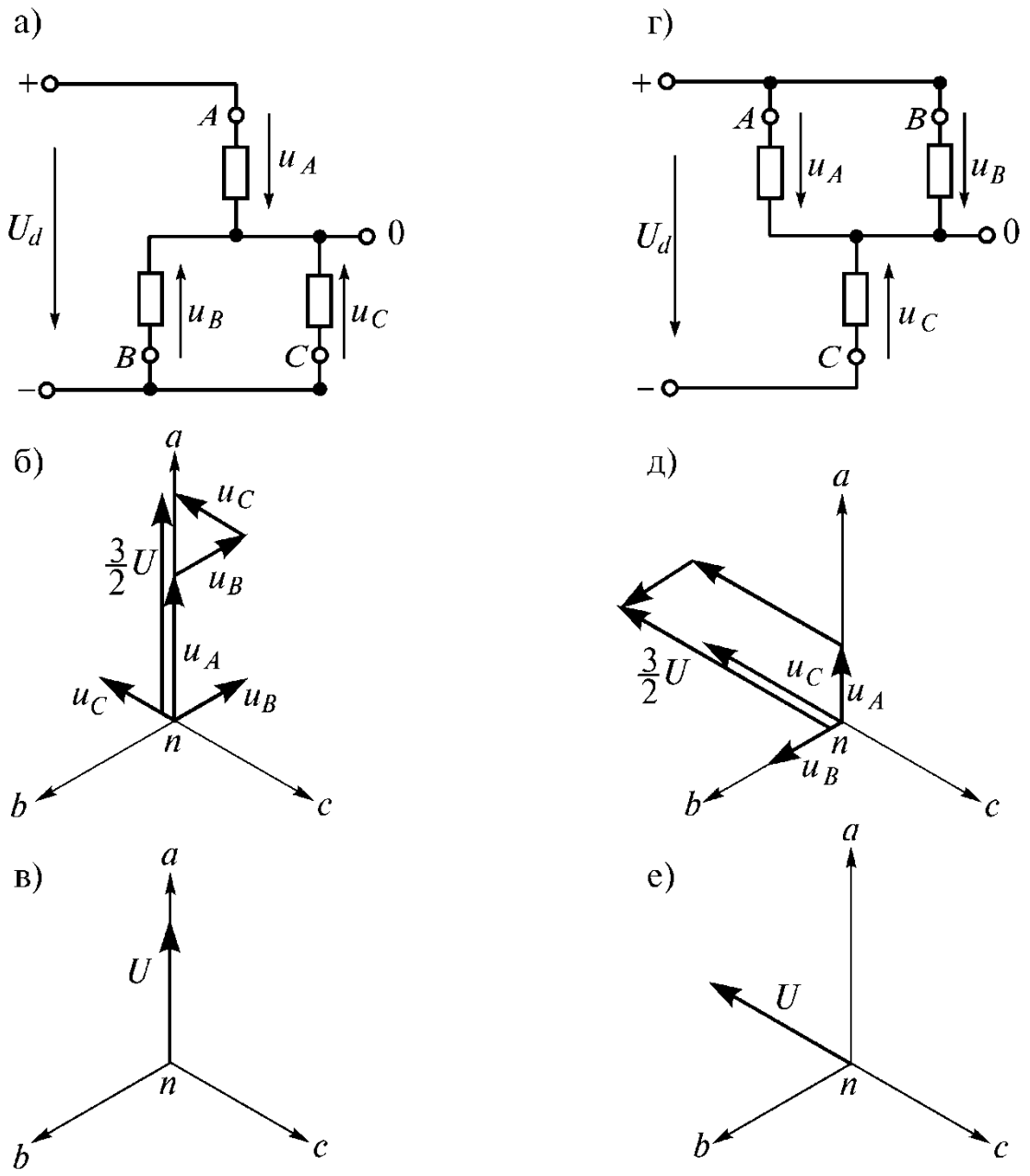


Рисунок 8.2 – Иллюстрации понятий обобщенного вектора: схема соединений при включении вентилей *V*6, *V*1, *V*2 (а), построение обобщенного вектора (б), обобщенный вектор для этого случая (в), схема соединений при включении вентилей *V*1, *V*2, *V*3 (г), построение обобщенного вектора (д), и состояние построения (е)

Теперь , пространственный вектор находится геометрическим сложением моментальных значений напряжений, пущены осями по фазам обмоток (со сдвигом в 120 град.), с дальнейшим умножением на 2/3. Другими словами, он обязательно определит моментальные значения напряжение на трех фазах.

Еще укажем, что полученный вектор не должен быть синусоидальным по напряжению.

АИН управляется способом, на базе которого основа модуляции с помощью пространственным вектором (*space vector modulation*) или векторная ШИМ. В трехфазном АИН имеется шесть возможных ненулевых комбинаций включенных состояний ключей инвертора, которые создают шесть фиксированных положений пространственного вектора выходного напряжения (табл. 8.1). вектор из одного положения в другое перемещается скачком, с каждым переключением передвигается на 60^0 (рис. 8.3). Каждое из шести положений пространственного вектора $\overline{U}_1 - \overline{U}_6$ рассматривается как самостоятельный вектор. Этим самым модуль дает равность и неизменность вектора $(2/3)U_d$. Направление вектора совпадает с осью той фазы, которая одна подключена к источнику питания. Состояние схемы нумеруется i =1, 2, 3, 4, 5, 6. Причем номер состояния определяется номером вентиля, единолично подключенным к одному из выводов источника питания. так же есть два положения, при которых включены либо все три верхних ключа инвертора ($V1$, $V3$, $V5$), либо все нижние вентили ($V2$, $V4$, $V6$). При этом напряжение на выходе инвертора равно нулю. Этому состоянию ключей соответствует нулевой вектор $\overline{U}_0$.

Таким образом, шесть ненулевых векторов $\overline{U}_1 - \overline{U}_6$ и два нулевых вектора $\overline{U}_0$ называются базовыми векторами напряжения (см. табл. 8.1, рис.8.3). Секторы между базовыми векторами обозначены цифрами 1, 2 … 6.

Последовательный переход от одного базового вектора к другому соответствует ступенчатой форме фазных напряжений (см. рис. 8.1). Для получения формы фазных напряжений, близкой к синусоидальной, нужно, чтобы пространственный вектор напряжения двигался, если и не абсолютно плавно, то хотя бы малыми скачками, занимая положения и между базовыми векторами. Такого можно добиться, если внутри каждого периода широтно-импульсной модуляции использовать не один исходный базовый вектор, а

линейную комбинацию исходного и следующего за ним ненулевого базового вектора, а также один из нулевых векторов. Пусть требуемый вектор $\overline{U}$ расположен в секторе 2 (см. рис. 8.3). Тогда переключения осуществляются между векторами $\overline{U}_2, \overline{U}_3$ и нулевым вектором $\overline{U}_0$, т.е. между замкнутыми состояниями ключей инвертора 1–2–3, 2–3–4 и 2–4–6 (см. табл. 8.1).

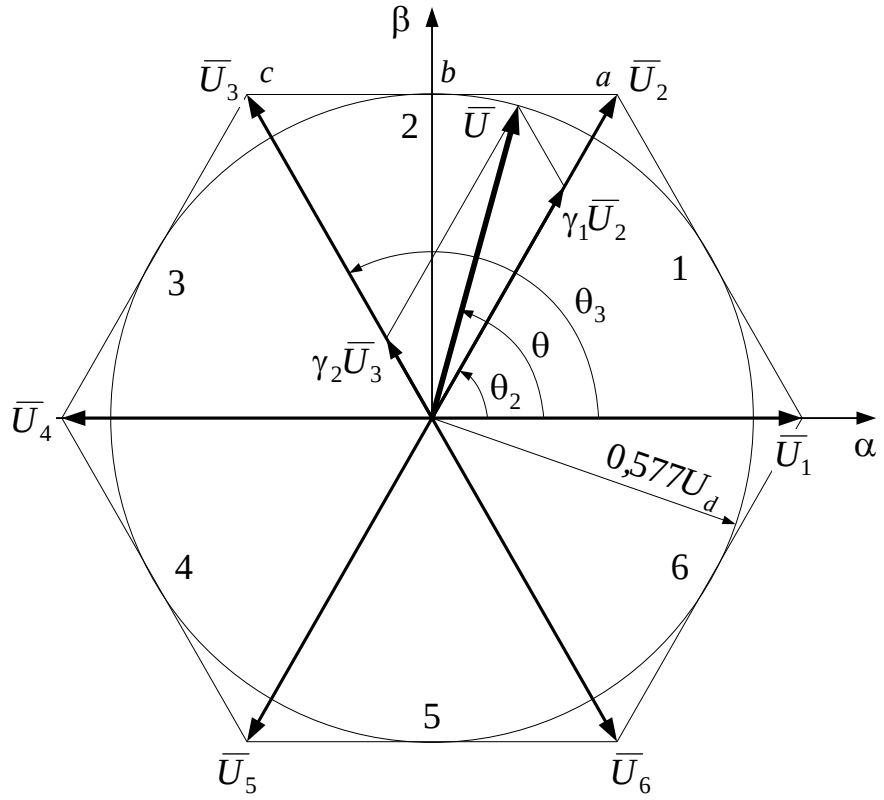


Рисунок 8.3 – Базовые пространственные вектора

Управление инвертором получается таким образом:

Задается нужное в какой-то момент времени, положение пространственного вектора напряжения $\overline{U}$, получается его модель U_m его угол поворота Θ .нужно найти весовые коэффициенты γ_1 , γ_2 , γ_0 показывающие продолжительность включения комбинации ключей инвертора, соответствующих используемым базовым векторам, т.е. относительные время включения ключей 1–2–3, 2–3–4 и 2–4–6 соответственно для случая работы инвертора во втором секторе. Эта задача решена в работе . Для второго сектора пространственный вектор напряжения может быть описан следующими уравнениями:

$$\overline{U} = \gamma_1 \overline{U}_2 + \gamma_2 \overline{U}_3 + \gamma_0 \overline{U}_0; \quad (52)$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_0 = 1. \quad (53)$$

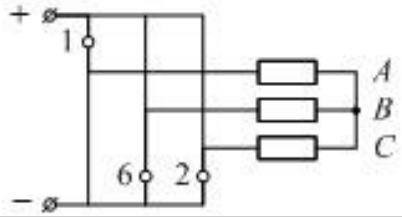
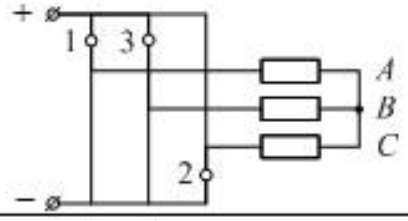
Тут $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_0$ – относительное продолжительность включения комбинации ключей 1–2–3, 2–3–4 и 2–4–6, которые соответствуют базовым векторам $\overline{U}_2$, $\overline{U}_3$ и $\overline{U}_0$.

Относительные продолжительности γ_1, γ_2, γ_0 находятся следующим образом:

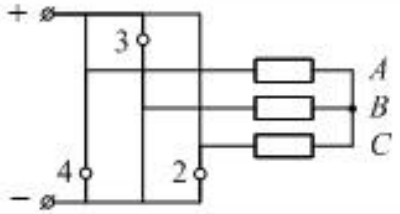
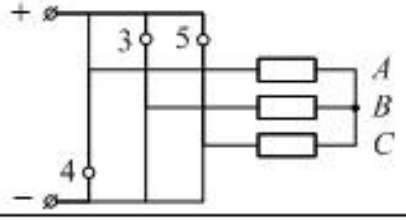
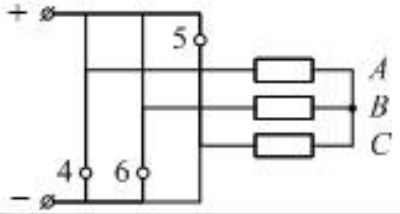
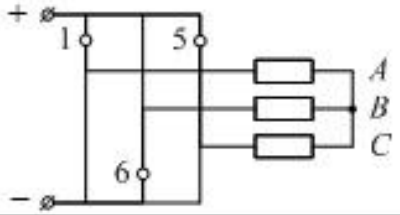
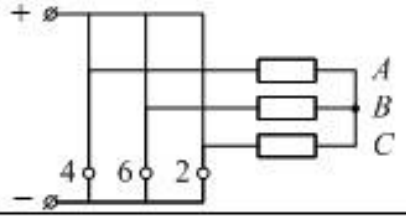
$$\gamma_1 = t_1 / T_{\text{шим}}; \ \gamma_2 = t_2 / T_{\text{шим}}; \ \gamma_0 = t_0 / T_{\text{шим}}, \quad (54)$$

где – t_1, t_2, t_0 – промежутки времени включения этих векторов в течении времени $T_{\text{шим}}$.

Таблица 8.1 – Базовые простанственные вектора

Базовый вектор	Включенные ключи	Схема включения ключей	Фазные напряжения		
			u_{1A}/U_d	u_{1B}/U_d	u_{1C}/U_d
$\overline{U}_1$ (фаза A)	$V1$, $V2$, $V6$		$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
$\overline{U}_2$ (фаза $\overline{C}$)	$V2$, $V1$, $V3$		$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$

Продолжение таблицы 8.1

Базовый вектор	Включенные ключи	Схема включения ключей	Фазные напряжения	Базовый вектор	Включенные ключи
$\overline{U}_3$ (фаза B)	$V3$, $V2$, $V4$		$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$
$\overline{U}_4$ (фаза $\overline{A}$)	$V4$, $V3$, $V5$		$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$
$\overline{U}_5$ (фаза C)	$V5$, $V4$, $V6$		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$
$\overline{U}_6$ (фаза $\overline{B}$)	$V6$, $V1$, $V5$		$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$
$\overline{U}_0$	$V2$, $V4$, $V6$		0	0	0

Уравнением (54) можно определить среднее значение пространственного вектора напряжение $\overline{U}$ линейную комбинацию из состоящих векторов, найти равентство, значит, суммарное время промежутков должно быть равно периоду ШИМ. Дополнительно к уравнениям вводят ограничения, по которым указывается то, что продолжительность включения не должны быть отрицательными:

$$0 \le \gamma_1 \le 1; 0 \le \gamma_2 \le 1; 0 \le \gamma_0 \le 1. \quad (55)$$

Запишим вектор напряжения $\overline{U}$, базовые $\overline{U}_2$, $\overline{U}_3$ на ови неподвижной системы через проекции:

$$\overline{U} = \bar{u}_\alpha + j\bar{u}_\beta;\ \overline{U}_2 = \bar{u}_{2(\alpha)} + j\bar{u}_{2(\beta)};\ \overline{U}_3 = \bar{u}_{3(\alpha)} + j\bar{u}_{3(\beta)}. \quad (56)$$

Ссылаясь на уровнение (8.49) и равенства нулю проекции нулевых векторов $\overline{U}_0$, можно получить проекции векторов требуемого напряжения их проекций базовых векторов.

$$\bar{u}_\alpha = \gamma_1\bar{u}_{2(\alpha)} + \gamma_2\bar{u}_{3(\alpha)};\ \ \bar{u}_\beta = \gamma_\beta = \gamma_1\bar{u}_{2(\beta)} + \gamma_2\bar{u}_{3(\beta)}. \quad (57)$$

Записав выражения через косинусы углов, показанных на рис. 8.3, вид последних равенств получим такой:

Если записать через косинусы углов, указанных на рис. 8.3, вид последних равенств будет такой:

$$U_m cos\theta = \gamma_1 U cos\theta_2 + \gamma_2\theta U cos\ \theta_3; \quad (58)$$

$$U_m sin\theta = \gamma_1 U sin\theta_2 + \gamma_2 U sin\theta_3. \quad (59)$$

Здесь U_m – модуль требуемого пространственного вектора напряжения;

U –модуль базового вектора (U = (2/3)U_d).

Одновременно считая уравнения, найдем относительное продолдение включения состояния ключей инвертора, нужных для нахождения вектора $\overline{U}$,находящегося во втором секторе:

$$\gamma_1 = \frac{U_m \sin(\theta_3 - \theta)}{U sin(\theta_3 - \theta_2)};\ \ \gamma_2 = \frac{U_m \sin(\theta - \theta_2)}{U sin\ (\theta_3 - \theta_2)}. \quad (60)$$

Опираясь на равенство (8.50) можно определить требуемую продолжительность включения нулевого вектора:

$$\gamma_0 = 1 - (\gamma_1 + \gamma_2)\gamma_0. \quad (61)$$

Уравнения можно переписать для любого n–сектора:

$$\gamma_1 = \frac{U_m \sin(n \cdot 60° - \theta)}{U sin 60°};\ \ \gamma_2 = \frac{U_m \sin(\theta - (n-1)60°)}{U sin\ 60°}. \quad (62)$$

При подстановке в выражения (8.59) n = 2 и U = (2/3)U_d получим:

$$\gamma_1 = \sqrt{3} \cdot \frac{U_m}{U_d} \cdot \sin(120° - \theta)\,;\ \ \gamma_2 = \sqrt{3} \cdot \frac{U_m}{U_d} \cdot \sin(\theta - 60°) \quad (63)$$

Максимальный модуль пространственного вектора, не используются нулевые вектора, это $\gamma_0 = 0$ и, следовательно, $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$, запишем уравнение с учетом выражений (8.53):

$$\sqrt{3} \cdot \frac{U_m}{U_d} \cdot [\sin(120° - \theta) + \sin(\theta - 60°)] = 1. \qquad (64)$$

Можно использовать уравнение (54) для определения максимального значения $\frac{U_m}{U_d}$ в зависимости от угла поворота Ѳ пространственного вектора, относительно оси α. Данные занесены в таблицу 8.2. по которым можно увидеть, что годографом концов $\overline{U}$ в пределах сектора является линия abc (рис 8.2)

Таблица 8.2 – Зависимость коэффициента модуляции от угла поворота вектора

Величина	Значение величины						
Ѳ	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
U_m/U_d	0,667	0,614	0,586	0,577	0,586	0,614	0,667

Что бы получить форму напряжения на выходе инвертора по максимуму при приближении к синусоиде, годограф концов должен представлять окружность (см.рис. 8.2). Что бы это получить, нужно за максимум длины вектора напряжения, выбрать значение $U_m \max = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \approx 0{,}577\, U_d$, значит выражения (8,54) будут выглядеть:

$$\gamma_1 = \frac{U_m}{U_m max} \cdot \sin(120° - \theta) = \mu \cdot \sin(120° - \theta)\,; \qquad (65)$$

$$\gamma_2 = \frac{U_m}{U_m max} \cdot \sin(\theta - 60°) = \mu \cdot \sin(\theta - 60°) \qquad (66)$$

где – $\mu = U_m/U_{m.\max}$ – коэффициент модуляции.

Если $\mu = 1$, значит все значениях угла поворота Ѳ, кроме Ѳ = 30, 90, 150, 210, 270, 330^0, формируясь в заданном пространственном векторе $\overline{U}$ должен участвовать один из нулевых векторов $\overline{U}_0$.

Длительность включения определяется по формуле (8.51) значения γ_1 и γ_2, найденные по выражениям (8.55), (8.56). Результаты расчета для вектора расположенного в секторе 2, приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3 – Относительная продолжительность включения базовых векторов

Величина	Значение величины						
θ	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
γ_1	0,866	0,765	0,645	0,5	0,342	0,173	0
γ_2	0	0,173	0,342	0,5	0,642	0,765	0,866
γ_0	0,134	0,062	0,016	0	0,016	0,062	0,134

Уравнения (8.55), (8.56) справедливы для пространственного вектора $\overline{U}$, расположенного в любом из шести возможных секторах:

$$\gamma_1 = \mu \cdot \sin(n \cdot 60° - \theta); \quad \gamma_2 = \mu \cdot \sin(\theta - (n-1)60°). \qquad (67)$$

где – n = 1, 2 … 6 – номера секторов, в котором находится заданный пространственный вектор.

При модуляции по векторной ШИМ и синусоидальному закону, максимальная амплитуда фазного напряжения

$$U_{ф.m}max = U_m \max = \frac{U_d}{\sqrt{3}}. \qquad (68)$$

Тогда фазное напряжение максимально действующее значение будет

$$U_ф max = \frac{U_d}{\sqrt{6}}. \qquad (69)$$

Значение линейного напряжения в $\sqrt{3}$ раз больше

$$U_л \max = \frac{U_d}{\sqrt{2}}, \qquad (70)$$

При регулировании частоты на выходе АИН по соответствующему закону трехфазное выходное напряжение и амплитуду необходимо регулировать. Регулирование получим изменением коэффициента модуляции μ в формулах (64), (67). Этим самым уменьшение μ доводит к снижению продолжительность включения ненулевых векторов γ_1 и γ_2 и увеличение относительной продолжительности включения нулевого вектора γ_0 и, тем самым, к уменьшению среднего значения напряжения за период ШИМ.

За счет изменения скорости вращения (угла поворота θ) пространственного вектора в полярной системе координат получается регулирование скорости вращения

Если вращать пространственный вектор $\overline{U}$ в обратное направление, это приведет к изменению чередования фаз на выходе АИН, тем самым изменится направление вращение двигателя.

Один из вариантов алгоритма реализации векторной ШИМ описан в работе. Для начала нужно определить номер сектора *n*,в котором находится пространственный вектор. Далее рассчитываются значения γ_1 и γ_2 по формулам (67) на каждом периоде ШИМ.

По ним определяются уровни переключения УП1 = γ_1 и УП2 = $\gamma_1 + \gamma_2$, которые если сравнить с пилообразным сигналом, освществится переключение базовых векторов. Последовательность представляет собой следующий алгоритм переключений:

Когда номер сектора *n* определен в начале каждого периода ШИМ нужно определить состояние инвертора, относящееся к исходному базовому вектору (для сектора 2 – это вектор $\overline{U}_2$);

На первом сравнении с уровнем УП1, происходит переход ко второму ьазовому вектору (для сектора 2 – это вектор $\overline{U}_3$);

При первом сравнении с уровнем УП2, осуществляется переход к нулевому вектору $\overline{U}_0$. Если это сооветствует таблике 8.1, то включается тот нулевой вектор, который требует минимального переключения ключей инвертора по отношению к предыдущему состоянию вентилей;

На втором сравнении с УП2 возвращаются раннее состояние (для сектора 2 – это вектор $\overline{U}_3$);

И на втором сравнении с УП1 происходит возврат к первоначальному состоянию (для сектора 2 – это вектор $\overline{U}_2$).

Для ПЧ с автономным инвертором входными сигналами является задаваемые из системы управления электропривода поворот угла θ вектора обобщенного. который вращается синхронно со скоростью в полятной системе координа и нужное значение амплитуды U_m пространственного вектора напрядения $\overline{U}$. В настоящем времени микропроцессор определяет номер сектора и внутресекторный угол поворота. Далее точки переключения рассчитываются соответственно выбранному алгоритму

Вариант управления векторной ШИМ показан на рис. 8.4

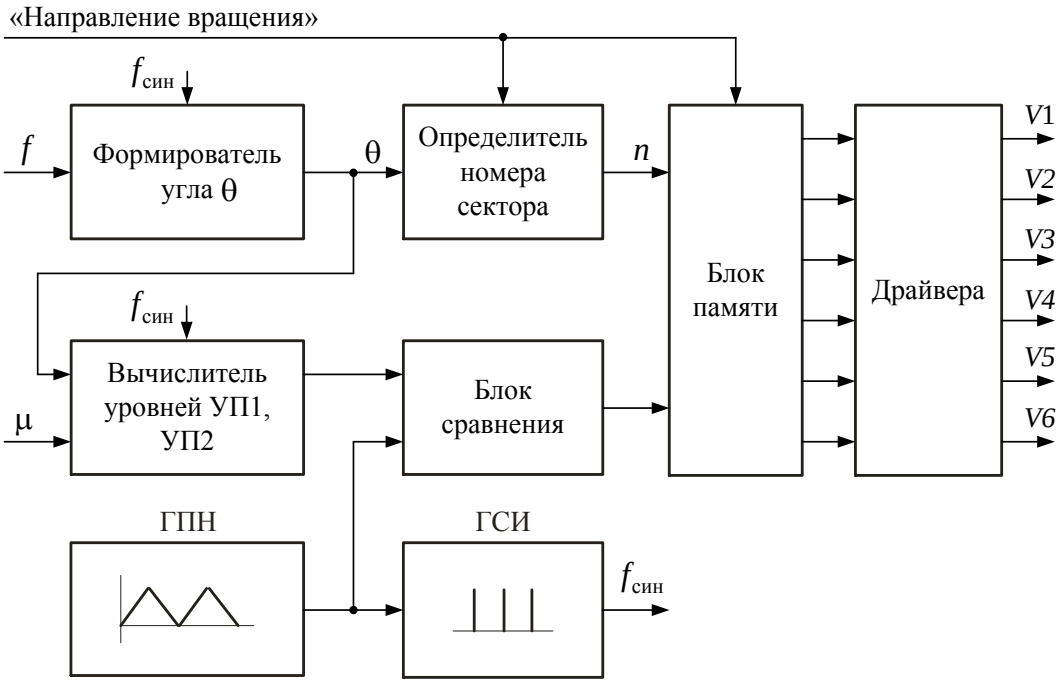


Рисунок 8.4 – Функциональная схема микропроцессорной системы управления векторной ШИМ

Составные блоки микропроцессорного управления: формирователь угла поворота θ , определитель номера сектора, вычислитель уровней переключений УП1 и УП2, блок сравнения, генератор пилообразного напряжения (ГПН), генератор синхронизирующих импульсов (ГСИ), блок памяти и выходные драйверы.

Формирователь угла поворота θ работает на формирование угла поворота пространственного вектора в полярной системе координат и его изменение в функции частоты f задающего воздействия с целью регулирования выходной частоты АИН. Работа блока сводится к расчету

дискретного угла поворота пространственного вектора внутри сектора $\Delta\theta = 360^\circ / k$, где $k = f_{шим} / f$ – целое число, соответствующее количество периодов ШИМ за один период несущей частоты, и определение нового значения угла поворота $\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta$.

Угол поворота учеличивается на величину $\Delta\theta$, под действием синхроимпульсов $f_{син,}$ создающихся в момент переход пилообразного напряжения ШИМ через нулевой уровень. Один оборот пространственного вектора вокруг своей оси в системе координат, выполняется при условии $\theta_i \geq 360^\circ$, получается установка начального угла $\theta_0 = 0^\circ$.

С появлением синхроимпульсов $f_{син}$ вычислитель уровней УП1 и УП2, проихводит расчет относительных продолжений включения γ_1 и γ_2 базовых векторов по формулам (4.57) и находит уровни переключений УП1 = γ_1 и УП2 = $\gamma_1 + \gamma_2$.

В блоке сравнения сравнивается уровни переключений УП1 и УП2 с пилообразным напряжением, вырабатываемым генератором пилообразного напряжения, для поиска временных интервалов для переключения базовых инверторов внутри сектора.

Блок памяти – это запоминающее устройство. В нем сохраняются коды состояния ключей инвертора для секторов, преключаемых выходных сигналов блока сравнения.

«Направление вращения» изменяющий сигнал для чередования выходных фаз, действующий на определитель номера сектора и блока памяти, в котором записываются коды состояния ключей инвертора, если вращать пространственный вектор по часовой или против часовой стрелки. Драйверы позволяют управлять силовыми ключами инвертора.

Вверху рисунка изображен пилообразный сигнал $u_{оп}$ и указаны значения угла поворота Θ на каждом периоде ШИМ. Отмечены уровни переключения УП1 и УП2, а также замкнутые состояния ключей на каждом периоде ШИМ.

Построение произведено для второго сектора $n = 2$ и глубины регулирования $\mu = 0{,}7$ в предположении, что пространственный вектор $\overline{U}$ поворачивается на 60° за шесть периодов ШИМ. Результаты расчета в соответствии с выражениями (8.64), (8.58) для заданных значений параметров n и μ приведены в табл. 8.4.

Поскольку в реальном случае частота ШИМ составляет килогерцы, т.е. число периодов ШИМ за время поворота вектора на 60° больше показанного на рис. 8.4, то среднее фазное напряжение, найденное в соответствии с описанным алгоритмом, обеспечивает практически синусоидальную форму токов на нагрузке АИН.

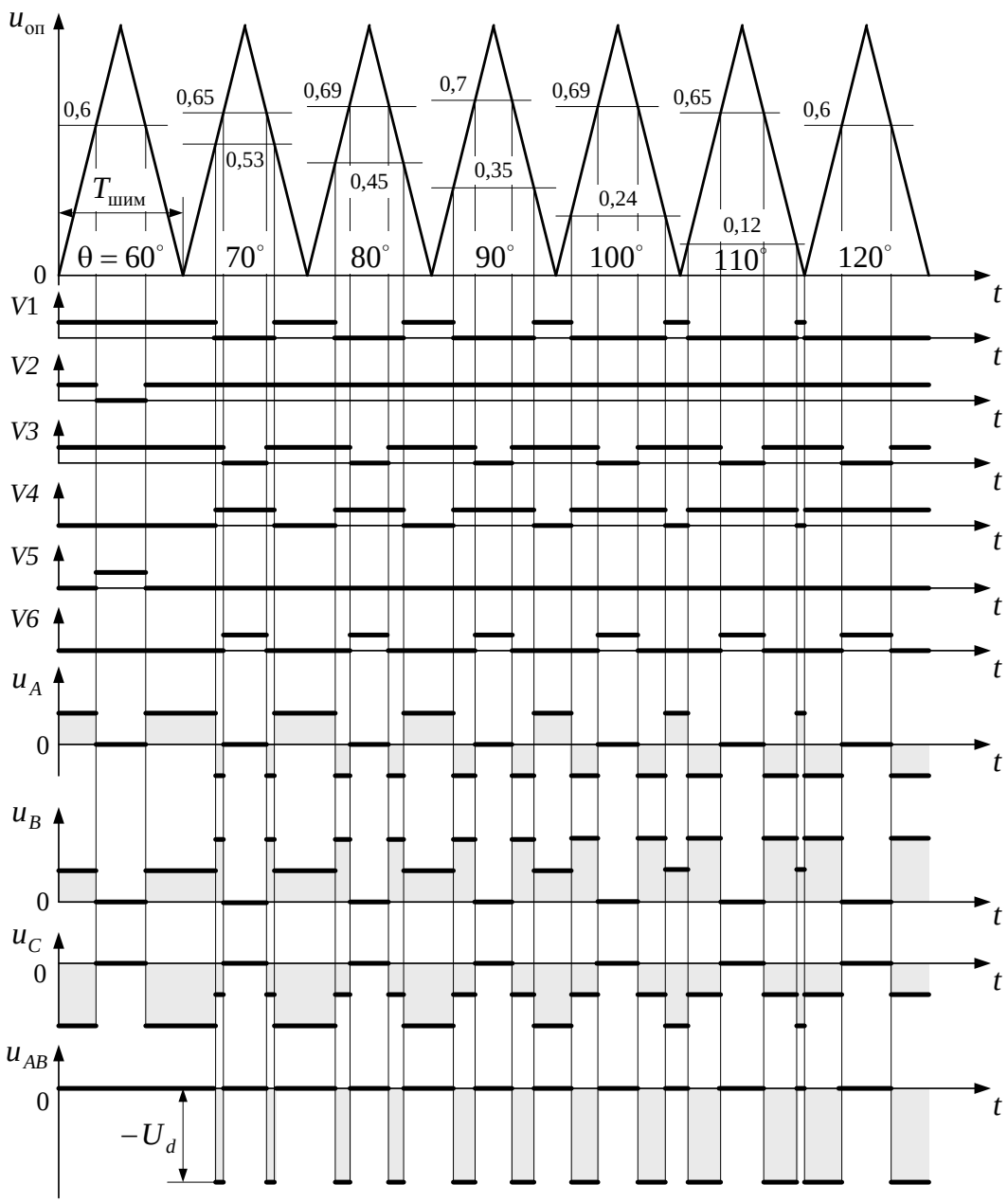


Рис. 8.4 – Формирование напряжения на выходе АИН с векторной ШИМ во втором секторе при $\mu = 0{,}7$

Важным приемуществом формирования фазных напряжений является уменьшение числа переключений на периоде ШИМ с 6ти до 4ех если сравнивать с методом формирования средних напряжений на выходах по отношению к средней точке источника питания. тем самым сокращение на 30% динамических потерь в ключевых элементах инвертора. Так же при таком управлении удается получить фазное и линейное напряжение на выходе АИН на 13,4 % больше, чем при формировании средних напряжений на выводах по отношению к средней точке при неизменяемом напряжении питания U_d на входе инвертора.

Таблица 8.4 – Относительная продолжительность включения базовых векторов

Величина	Значение величины						
θ	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
γ_1	0,6	0,53	0,45	0,35	0,24	0,12	0
γ_2	0	0,12	0,24	0,35	0,45	0,53	0,6
γ_0	0,4	0,35	0,31	0,3	0,31	0,35	0,4

9 АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА

9.1 Описание технологического процесса

Грузовой лифт предназначен для подъема с нижнего этажа на верхний этаж помещения и наоборот. В исходном состоянии кабина находится на нижнем этаже (рисунок 9.1). После загрузки лифта на нижнем этаже (НЭ) оператор вручную закрывает дверь шахты (ДШ) и нажимает на панели оператора (ПО) кнопку отправки лифта вверх (КВ). Команда о нажатии запоминается и кабина начинает подниматься на верхний этаж(ВЭ) . На верхнем этаже, после прибытия лифта, кратковременно включается звонок(Зв).

Для отправки подъемника на (НЭ) рабочий на этаже закрывает дверь шахты и оператор нажимает кнопку отправки лифта на нижний этаж(КН)

При достижения лифтом нужного этажа установлены датчики для наиболее точной и плавной остановки кабины: промежуточный датчик нижнего положения (ПНП) и промежуточный датчик верхнего положения (ПВП).

На каждом этаже расположен индикатор (И), показывающий присутствие кабины на этаже.

Лифт не должен двигаться, если хотя бы одна из дверей шахты будет открыта. После восстановления закрытого состояния всех дверей и, если подъемник находился между этажами, подъемник должен уйти по ранее заданному адресу, либо управление переводится на ручной режим и подъемник вручную перемещается в любом направлении.

Для перемещения подъемника использован асинхронный короткозамкнутый двигатель мощностью 11 кВт.

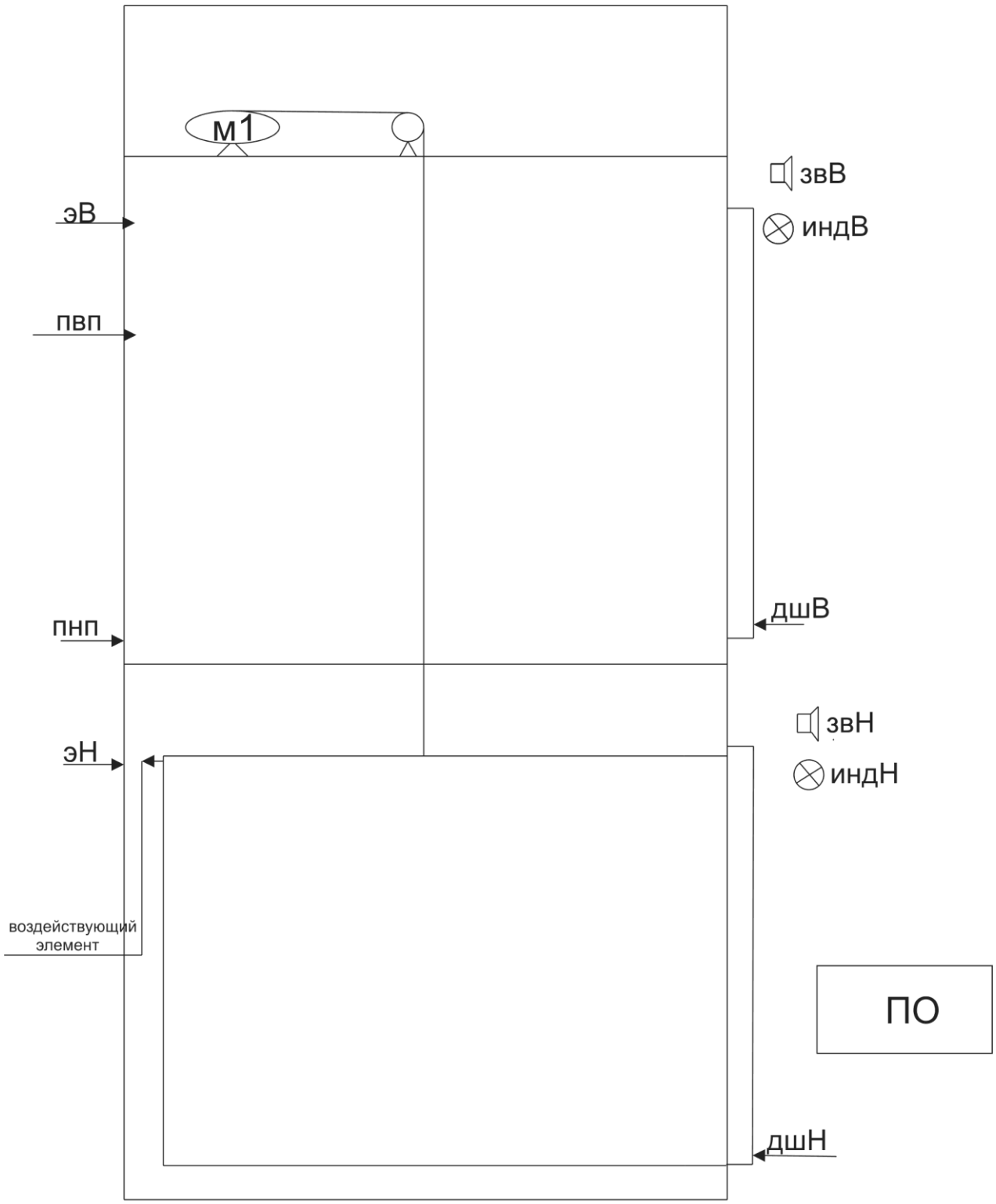


Рисунок 9.1 – Функциональная схема работы лифта

9.2 Требования к системе автоматизации

Из представленного описания технологического процесса и последовательности работы механизмов следует, что система автоматизации должна формировать 2 команды для привода подъема кабины.

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные узлы (см. рисунок 9.1):

- пульт управления (П0);
- система управления двигателем 1 (СУД1);
- приводной двигатель (М1) кабины;
- блок индикации и оповещения (БИ).

В системе управления предусматривается переключатель режимов на два положения: «Ручной» – «Автоматический», которым лифт должен переводиться в тот или иной режим работы.

В аварийных ситуациях может потребоваться ручное управление подъемником. Поэтому на пульте управления должен быть кнопки ручного управления «Вверх», «Стоп», «Вниз», а также индикация работы. При включении ручного режима работы и нажатия кнопки «Вверх» или «Вниз» должно осуществляться движение подъемника соответственно вверх или вниз. Команда будет сохраняться до тех пор, пока не отпущена соответствующая кнопка или достигнут этаж.

Подъемник должен быть снабжен автоматически действующими тормозами нормально-закрытого типа. При этом коэффициент запаса торможения в приводе механизма подъема должен быть не менее 1.5.

Электропривод подъемника должен удовлетворять следующим требованиям:

– снятие механического тормоза должно происходить одновременно с включением электродвигателя или после его включения;

– отключение электродвигателя должно сопровождаться наложением механического тормоза;

– должен исключаться самозапуск электродвигателя после восстановления напряжения в питающей сети;

– силовая цепь электродвигателя должна прерываться двумя независимыми электроаппаратами (выключателями).

При опускании кабины двигатель работает в режиме рекуперации, поэтому для рассеивания энергии должны быть предусмотрены сливные резисторы.

При работе режима «Автоматический» воздействие аппарата ручного управления не должно влиять на работу подъемника и наоборот.

9.3 Разработка алгоритма работы системы автоматизации

В таблице 9.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе:

Таблица 9.1 – Сигналы и команды, используемые в системе

Переменные	Обозначение	Наименование
Входные	ЭВ	Датчик верхнего этажа
	ЭН	Датчик нижнего этажа
	ПВП	Промежуточное верхнее положение
	ПНП	Промежуточное нижнее положение
	ДШН	Датчик закр. двери шахты нижний этаж
	ДШВ	Датчик закр. двери шахты верхний этаж
	ГотП	Готовность привода лифта
	Руч	Ручной режим
	Авт	Автоматический режим
	КНлВ	Кнопка лифт вверх
	КНлН	Кнопка лифт вниз

Продолжение таблицы 9.1

Переменные	Обозначение	Наименование
Входные	Пуск	Кнопка пуск режимов работы
	Стоп	Кнопко стоп режимов работы
	Сбр.Авр	Сброс аварии
Выходные	Вверх	Движение кабины вверх
	Вниз	Движение кабины вниз
	МВниз	Движение кабины медленно вниз
	МВверх	Движение кабины медленно вверх
	ИндН	Сигнальная лампа на нижнем этаже
	ЗвН	Звонок на нижнем этаже
	ЗвВ	Звонок на верхнем этаже
	Авр.	Сигнал возникновение аварии
	Авр1	Сигнал одновременного возникновения команд «Вверх» и «Вниз»
	АврЭВ	Сигнал неисправности датчика ЭВ
	АврЭН	Сигнал неисправности датчика ЭН

Сигнал готовности системы (Гот.) возникает в автоматическом режиме при нажатие на кнопку пуск и запоминается до нажатия кнопки стоп или возникновения аварии:

$$\text{Гот.} = \text{Авт}\ (\text{Пуск} + \text{Гот.}) \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \overline{\text{Ручн}} \cdot \overline{\text{Авар}}.$$

Память нажатия кнопки верхнего этажа возникает в отсутствии памяти нажатия кнопки нижнего этажа, при нажатии кнопки КнВ, при наличии сигнала с датчика нижнего этажа запоминается до возникновения сигнала ЭВ либо исчезновения согнала о готовности:

$$Р_{эв} = (К_{нВ} \cdot ЭН \cdot \overline{Р_{эн}} + Р_{эв}) \cdot Гот \cdot \overline{ЭВ}.$$

Память нажатия кнопки нижнего этажа возникает в отсутствии памяти нажатия кнопки верхнего этажа, при нажатии кнопки КнН, при наличии сигнала с датчика верхнего этажа запоминается до возникновения сигнала ЭН либо исчезновения согнала о готовности:

$$Р_{эн} = (К_{нН} \cdot ЭВ \cdot \overline{Р_{эн}} + Р_{эв}) \cdot Гот \cdot \overline{ЭН}.$$

Сигнал общей Аварии(Авр.) возникает при появлении одного из сигналов Авар1, АврЭН, АврЭВ или исчезновения ГотПр, и сохраняется до тех пор пока не появится сигнал СбросАвр:

$$Авр = (\overline{ГотПр} + Авр_1 + Авр_{ЭВ} + Авр_{ЭН} + Авт) \cdot \overline{СбросАвр}.$$

Сигнал Авр1 возникает при наличии готовности системы и одновременном появлении сигналов «Вверх» и «Вниз» и запоминается до нажатия кнопки «Сброс Аварии»(СбросАвр):

$$Авр_1 = (Гот \cdot Вверх \cdot Вниз + Авар_1) \cdot \overline{СбросАвр}.$$

Сигнал АврЭВ возникает при наличии готовности, при превышении времени движения кабины вверх, запоминается до нажатия кнопки «СбросАвр»:

$$Авр_{ЭВ} = (Гот \cdot Вверх \uparrow + Авр_{ЭВ}) \cdot \overline{СбросАвр}.$$

Сигнал Вверх возникает при наличии сигнала о закрытых дверях шахты, наличии памяти нажатия кнопки верхнего этажа; или в ручном режиме при нажатии кнопки КнВ до тех пор пока не возникнет сигнал с датчика ЭВ:

$$Вверх = Д_{шн} \cdot д_{шв} + Р_{эв} + Руч \cdot К_{нВ} \cdot \overline{ЭВ}.$$

Сигнал Вниз возникает при наличии сигнала о закрытых дверях шахты, наличии памяти нажатия кнопки нижнего этажа; или в ручном режиме при нажатии кнопки КнН до тех пор пока не возникнет сигнал с датчика ЭН:

$$Вниз = Д_{шн} \cdot Д_{шв} \cdot Р_{эн} + Руч \cdot К_{нН} \cdot \overline{ЭН}.$$

Сигнал М.Вниз возникает при наличии движения Вниз и сигнала с датчика о промежуточном нижнем состоянии ,сохраняется до тех пор пока есть движение Вниз:

$$М_{Вниз} = (Вниз \cdot П_{нП} + М_{Вниз}) \cdot Вниз.$$

Сигнал М.Вверх возникает при наличии движения Вверх и сигнала с датчика о промежуточном верхнем состоянии ,сохраняется до тех пор пока есть движение Верх:

$$М_{Верх} = \left(Вверх \cdot П_{вП} + М_{Верх}\right) \cdot Вверх.$$

Сигнал индикации о нахождении кабины на нижнем этаже возникает при наличии сигнала с датчика ЭН:

$$Инд_{Н} = ЭН.$$

Сигнал индикации о нахождении кабины на верхнем этаже возникает при наличии сигнала с датчика ЭВ:

$$Инд_{В} = ЭВ.$$

Звуковая индикация о прибытие кабины на нижний этаж возникает при наличии сигнала с датчика НЭ, звонок звенит до тех пор пока сигнал с датчика НЭ не превысит 3секунд:

$$ЗвН = (ЭН + ЗвН) \cdot ЭН \downarrow_{З}$$

вуковая индикация о прибытие кабины на верхний этаж возникает при наличии сигнала с датчика ВЭ, звонок звенит до тех пор пока сигнал с датчика ВЭ не превысит 3секунд:

$$ЗвВ = (ЭВ + ЗвВ) \cdot ЭВ \downarrow_{З}$$

10 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В данном проекте для управления системы требовалось использовать автоматизации 14 входных и 12 выходных сигналов, поэтому был выбран программируемый контроллер *CPM2A–30CDR*–D фирмы *OMRON*. Данный контроллер имеет 18 входа и 12 выходов. Аппаратные и программные средства позволяют обеспечить выполнение всех типовых информационных и управляющих функций. Модули ввода вывода выбраны на постоянное напряжение питания 24В, это исключит необходимость применения нескольких блоков питания на разное напряжение.

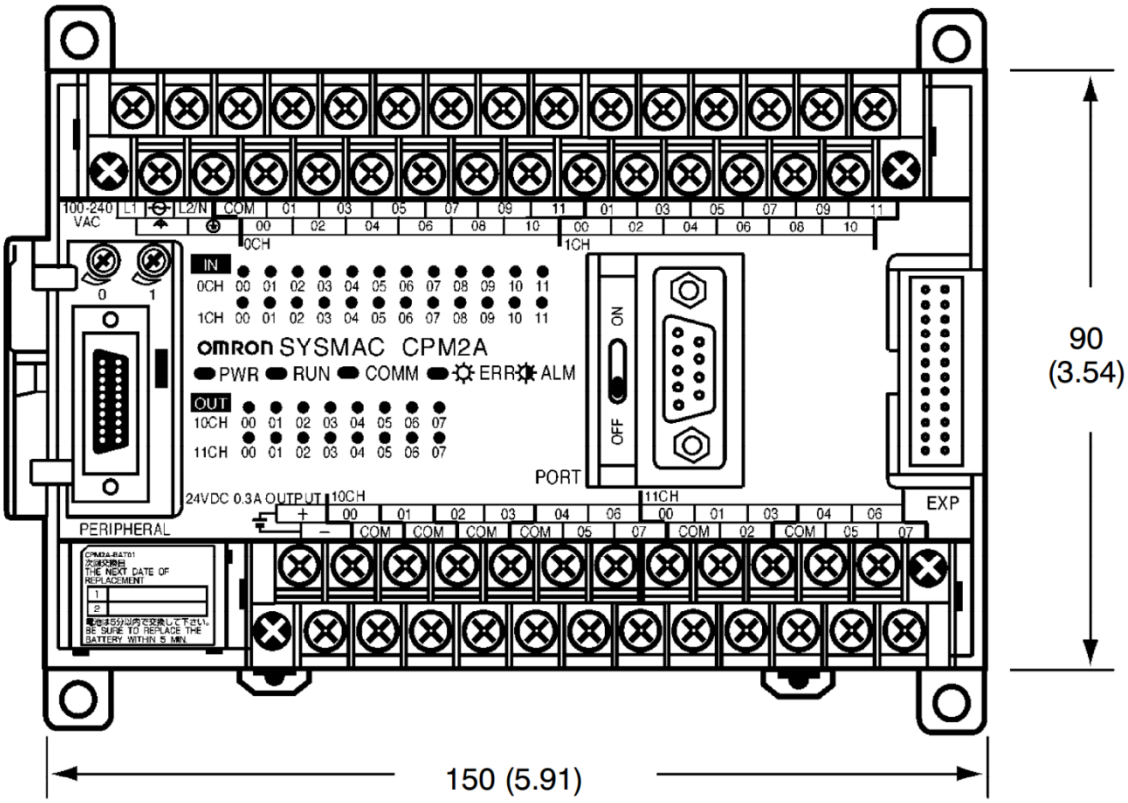


Рисунок 10.1 – программируемый контроллер *CPM2A–30CDR–D*

Для обеспечения управления системой автоматизации выберем сенсорный монитор. В качестве такого монитора выбрана сенсорная панель оператора *NT21*. Данная модель обладает собственной операционной системой, широкими возможностями по программированию различных графических объектов на экране монитора.

Технические характеристики монитора представлены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – технические характеристики сенсорного монитора *NT21*

Характеристика		значение
Напряжение		*DC*, 24 В
Потребляемая мощность		7Вт
Дисплей	Тип	Монохромный жидкокристаллический *STN LCD*
	Эффективный размер	117x63
	Разрешение	260x140
	срок службы	50000 часов минимум
Сенсорная панель	Тип	резисторная матрица
	Количество ключей	13x7
Связь с внешними устройствами		Последовательный порт А(9конт) Последовательный порт В(9конт)
Язык		Английский
Flash-память		512КБ
количество пользовательских экранов		3999

В качестве датчиков выбраны индуктивные бесконтактные выключатели *ISB AF8A-31P-10-Z-G* производства фирмы «Теко». Датчик срабатывает при появлении объекта воздействия в чувствительной зоне. Для срабатывания индуктивного датчика непосредственного соприкосновения с контролируемым объектом не требуется. Основные технические характеристики представлены в таблице 10.2.

Таблица 10.2 Характеристика индуктивного бесконтактного выключателя *ISBAF8A-31P-10-Z-G*

Наименование характеристики	Единицы измерения	Величина
Номинальное напряжение питания	В	10-30
Расстояние срабатывания	мм	Неболее 10
Максимальный ток нагрузки	мА	250

Рисунок 10.2 – Схема подключения датчика *ISB AF8A*

Для визуальной индикации прибытия кабины лифта используется лампа *NTC 24 DC*, а для звуковой звонок *XVPC24B.*

Таблица 10.3 - Характеристики устройств сигнализации

Оборудование	Маркировка	Характеристики
Лампа	*NTC*	- напряжение питания DC 24В
Звонок	*XVPC24B*	- напряжение питания DC 24В -мощность 5 Вт

Для обеспечения питания датчиков, входных и выходных модулей программируемого контроллера необходимо выбрать блок питания. Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причем для оптимального использования необходимо учитывать то, что не все потребители включены одновременно. Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. В таблице 10.4 представлен расчет мощности блока питания.

Таблица 10.4 – Расчет требуемой мощности блока питания

Наименование потребителя	Потребляемая мощность, Вт	Количество потребителей, шт.	Общая мощность, Вт
Безконтактные датчики	6	6	36
Входные цепи *CPM2A-30CDR*	0,156	16	2,5
Выходные цепи *CPM2A-30CDR*	4,8	12	57,6
Сенсорный монитор	7	1	7
Лампа	4	2	8
Звонок	5	2	10
Суммарная мощность потребителей			110,1

По полученному значению суммарной потребляемой мощности выбран блок питания типа *RS*-120-24 производителя *Mean Well Enterprises* на номинальный ток 6,5 А и напряжение 24 В

Для включения питания всей системы автоматизации и аварийного ее отключения используется силовой контактор на переменное напряжение 380В и рассчитанный на полный ток нагрузки всех потребителей системы.

Для защиты от коротких замыканий и перегрузки при работе в проекте предусмотрены защиты в виде выключателей.

11 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

11.1 Разработка функциональной схемы

На основе описания технологического процесса, содержательного описания автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд, с учетом выбора программируемого контроллера составлена схема электрическая функциональная, представлена на рисунке 5.8. В соответствии с указанными обозначениями:

М1– Электродвигатель кабины;

ВЭ – Воздействующий элемент;

КП – Кабина подъемника;

ДШ – Дверь шахты;

ПО – Пульт оператора;

ЭВ – датчик верхнего этажа;

ЭН – датчик нижнего этажа;

ПВП – датчик промежуточно верхнего положения;

ПНП – датчик промежуточно нижнего положения;

ДШВ – датчик шахты верхнего этажа;

ДШН – датчик шахты нижнего этажа.

Система автоматизации состоит из следующих элементов:

-Сенсорная панель оператора;

-Программируемый контроллер *CPM2A–30CDR–D*;

-Датчики технологической информации;

-Блок питания;

-Преобразователь частоты;

-Двигатель исполнительного механизма М1;

На сенсорной панели оператора реализованы следующие экраны:

-экран меню;

-экран автоматического режима;

-экран ручного режима;

-экран аварийного режима;

На экране меню (Рисунок 11.1) расположены кнопки перехода на другие мониторы, а именно:

-Кнопка «Автоматический режим»;

-Кнопка «Ручной режим»;

-Кнопка « Аварийный режим».

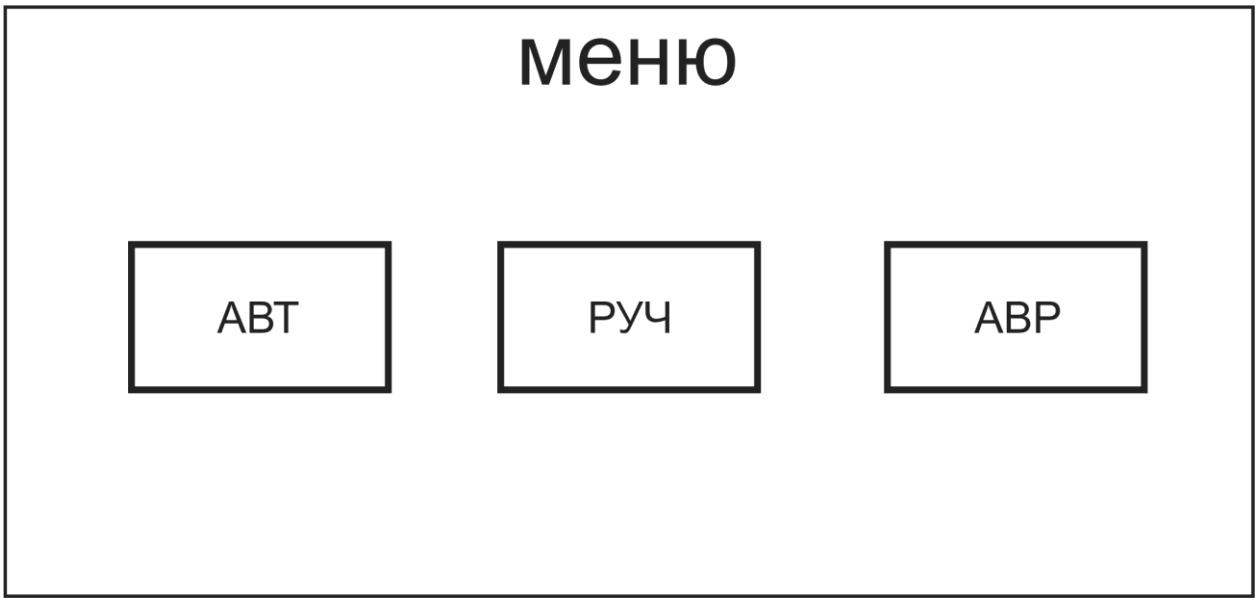


Рисунок 11.1 – Экран меню

При переходе на экран автоматического режима (Рисунок 5.5), отображается следующая панель на которой присутствуют кнопки:

«Пуск» – кнопка включения автоматического режима работы;

«Стоп» – кнопка отключения автоматического режима работы;

«Меню» – переход на экран меню;

«Руч» – переход на экран ручного режима;

«Авар» – переход на экран аварийного режима;

«Вверх» – отправка лифта на верхний этаж;

«Вниз» – отправка лифта на верхний этаж.

На данном мониторе расположено множество вспомогательных ламп:

«Гот схемы» – лампа обозначения готовности схемы к работе;

«Авр» – лампа индикации общей аварии;

«ЭН», «ЭВ», «ПНП», «ПВП», «ДШН», «ДШВ», - индикация работы датчиков;

«вверх», «вниз» - лампа индикации движения.

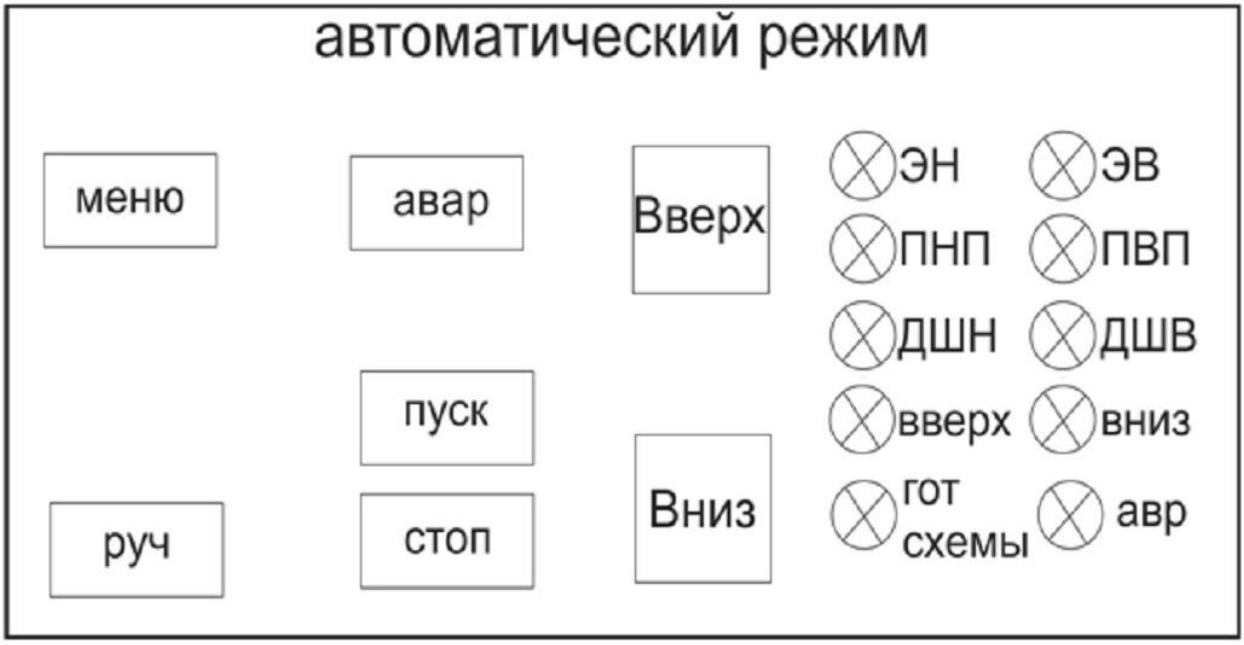


Рисунок 11.2 – Экран автоматического режима

При переходе на экран ручного режима (Рисунок 11.3), отображается следующая панель на которой присутствуют кнопки:

«Меню» – переход на экран меню;

«Авт» – переход на экран ручного режима;

«Авар» – переход на экран аварийного режима;

«Вверх» – отправка лифта на верхний этаж;

«Вниз» – отправка лифта на верхний этаж;

На данном мониторе расположено множество вспомогательных ламп:

«ЭН», «ЭВ», «ПНП», «ПВП», «ДШН», «ДШВ» – индикация работы датчиков;

«вверх», «вниз» – лампа индикации движения.

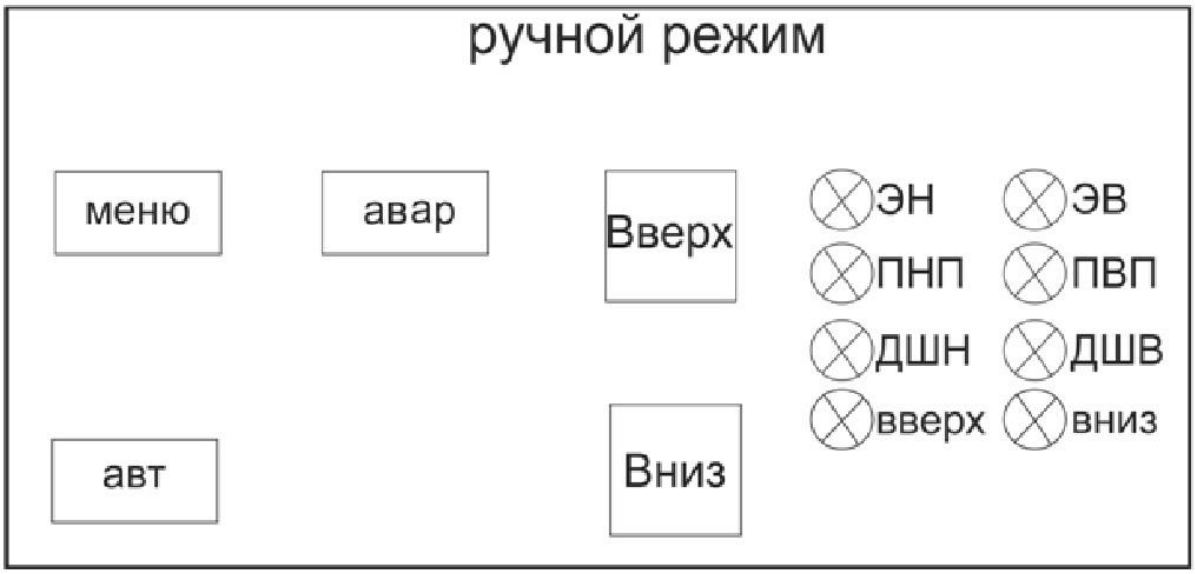


Рисунок 11.3 – Экран ручного режима

При переходе на экран аварийного режима оператор наблюдает следующие кнопки управления (Рисунок 11.4):

«Сброс авр» – кнопка сброса аварийного режима;

«Меню» – переход на экран меню;

«Авт» – переход на экран работы в автоматическом режиме;

«Руч» – переход на экран работы в ручном режиме;

Лампы:

«Авр1», «АврЭН», «АврЭВ», «ГотПР» – индикация аварий.

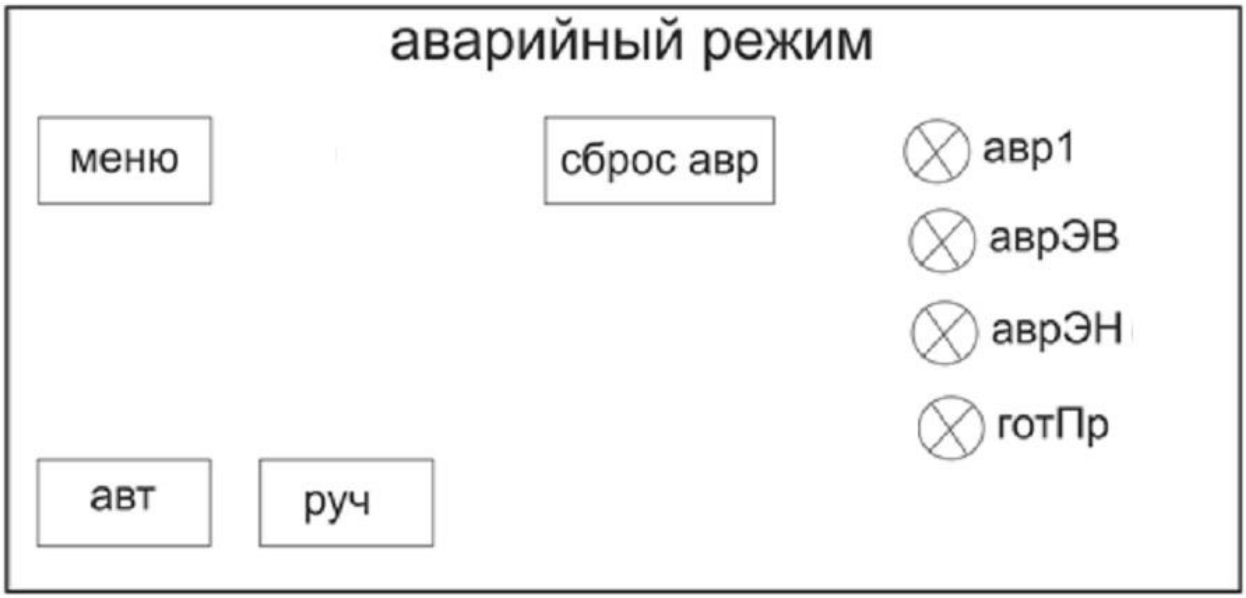


Рисунок 11.4– Экран аварийного режима

На функциональной схеме (Рисунок 11.5) показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации. Основным связующим элементом является программируемый контроллер.

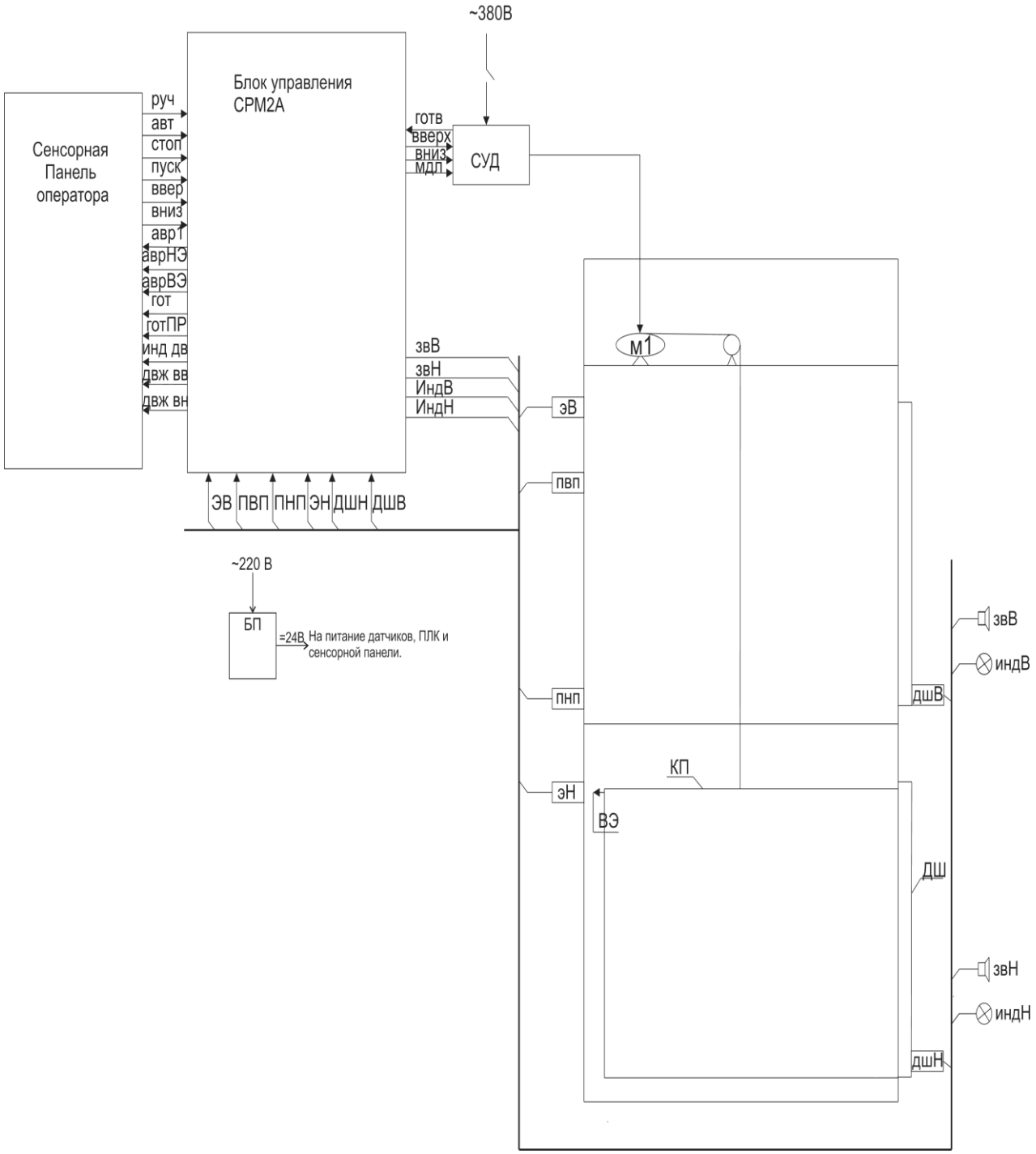


Рисунок 11.5 – Функциональная схема лифта

11.2 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизации

В соответствии с функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 11.5) и выбранной элементной базой составлена принципиальная схема, которая представлена на чертеже Э-973.01 Э3.

Автоматический выключатель *QF*1 выполняет функции защиты системы от коротких замыканий.

Блок питания *G*1 с напряжением на выходе 24В питает основные низковольтные элементы: датчики, входные и выходные цепи контроллера *A*1, монитор *A*2.

В системе используется бесконтактные датчики *SQ1-SQ6*. В соответствии со схемой, представленной на рисунке 10.2, производится подключение информационных выходов датчиков к входам модуля ввода. Выбор датчиков описан в пункте ранее.

Асинхронные двигатель М1 управляется системами частотного преобразователя Триол АТО6 – 015.

Частотный преобразователь получает питание от сети трехфазного напряжения 380В.

Управление приводами всех механизмов осуществляется через программируемый контроллер А1, в зависимости от режима работы, который включает и отключает привода в соответствии с входными сигналами и по заданной программе.

Монитор *NT*21 подключен к контроллеру с помощью витой пары *MPI*.

Чтобы система получила питание необходимо включить автомат *QF*1, затем нажатием *SB*1 включается пускатель *КМ*1. Загорается лампа *HL*1. Для безопасности предусмотрена ладонная кнопка аварийного отключения *SB*2.

При подаче питания на программируемом контроллере должен загореться индикатор. На мониторе должен появиться основной экран со всеми

запрограммированными кнопками и индикаторами, иначе нужно проверить блок питания или монитор.

11.3 Разработка программного обеспечения системы автоматизации

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому устройству, а также задать адреса промежуточных переменных и используемых таймеров и счетчиков. Указанная информация сведена в таблицу 11.1.

№ п/п	Наименование сигнала или команды	Обозначение всодерж. описании	Адрес	Аппарат, формир. сигнал
	1	2	3	4
1	Датчик ЭН	ЭН	00.00	*SQ1*
2	Датчик промечуточно нижнего положения	ПНП	00.01	*SQ2*
3	Датчик промечуточно верхнего положения	ПВП	00.02	*SQ3*
4	Датчик ЭВ	ЭВ	00.03	*SQ4*
5	Датчик нижней шахты	ДШН	00.04	*SQ5*
6	Датчик верхней шахты	ДШВ	00.05	*SQ6*
7	Кнопка ручного режима	Руч	00.06	*A1*
8	Кнопка автоматического режима	Авт	00.07	*A1*
9	Готовность привода	Гот ПР	00.08	*A1*
10	Кнопка лифт вверх	КнЛВ	00.09	*A1*
11	Кнопка лифт вниз	КнЛН	1.0	*A1*
12	Кнопка пуск	Пуск	1. 1	*A1*
13	Кнопка стоп	Стоп	1. 2	*A1*
14	Кнопка сброс аварии	СбрАвр	1.3	*A1*
15	Звонок этаж нижний	ЗвЭН	10.0	*A1*
16	Общая авария	Авр	10.1	*A1*

Продолжение таблицы 11.1

17	Индикация этаж нижний	Инд ЭН	10.2	*A1*
18	Звонок этаж верхний	ЗвЭВ	10.3	*A1*
19	Индикация этаж верхний	Инд ЭВ	10.4	*A1*
20	Авария1	Авр1	10.5	*A1*
21	Авария датчика этажа нижнего	АврЭН	10.6	*A1*
22	Авария датчика верхнего этажа	АврЭВ	10.7	*A1*
23	Движение Вниз	Вниз	11.0	*A1*
24	Движение вверх	Верх	11.1	*A1*
25	Движение вниз медленно	МВниз	11.2	*A1*
26	Движение вверх медленно	МВерх	11.3	*A1*

Программа, построена на основе полученных уравнений, представлена на рисунке 11.6.

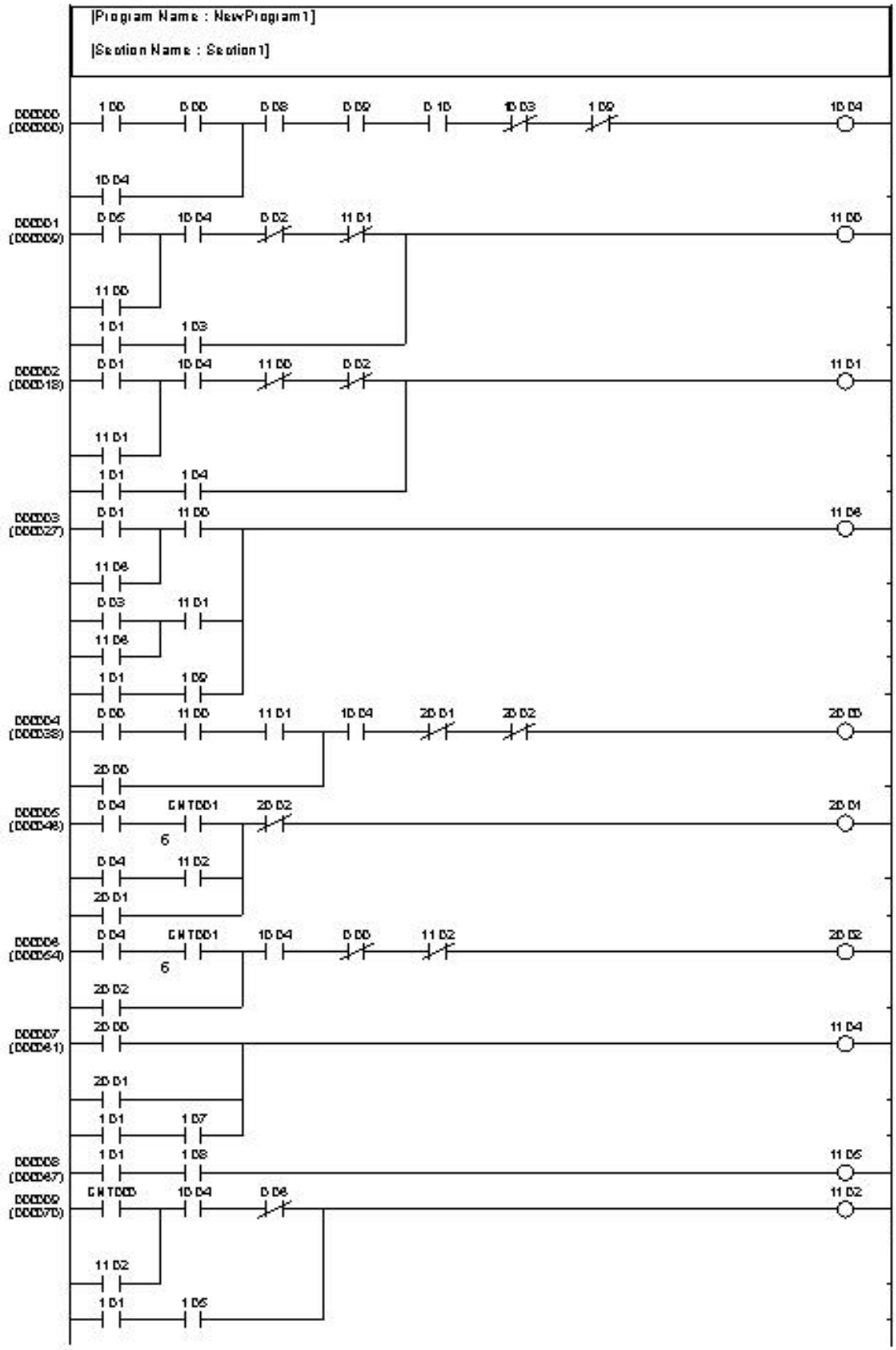


Рисунок – 11.6 Лестничная диаграмма проектирования

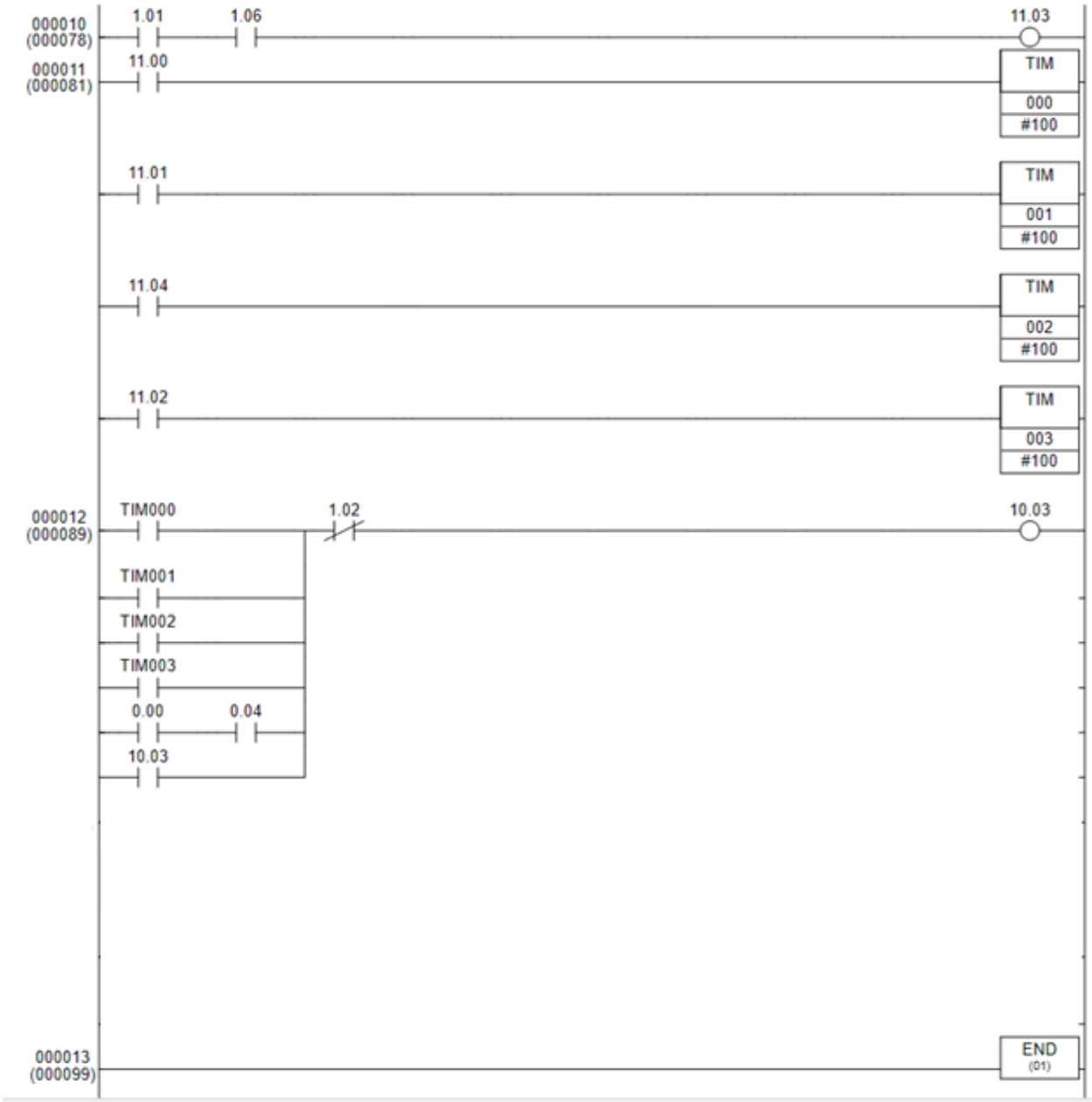


Рисунок – 11.6 Продолжение лестничной диаграммы проектирования