

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 08.10.2022 20:39:47
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781955be730df2574d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе


О.Г. Локтионова
« 30 » 09 2022 г.



ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЛИФТОВ

Методические указания по выполнению практических
занятий для студентов направления подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника

УДК 621.876

Составитель А.С. Чернышев

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»

А.С. Романченко

Электрооборудование лифтов: методические указания по выполнению практических работ для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / Юго-Зап.. гос. ун-т; сост.: А.С. Чернышев. Курск, 2022. – 26 с. – Библиогр.:с.26.

Содержат сведения по выполнению практических работ по дисциплине «Электрооборудование лифтов».

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Предназначены для студентов всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. . Уч.–изд.л . Тираж 100 экз. Заказ 808 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

Введение

Данные методические указания предназначены для выполнения практических занятий по курсу «Электрооборудование лифтов». В качестве объекта расчета принят грузовой лифт.

Грузовой лифт установлен в четырехэтажном производственном здании и служит для опускания готовой продукции в контейнерах, закатываемых в кабину, а также для транспортировки полуфабрикатов в контейнерах между этажами и подачи порожних контейнеров. Полуфабрикаты изделий не допускают чрезмерных динамических нагрузок при транспортировании, из-за чего должно быть ограничено максимальное ускорение кабины. Работу лифта и его конструктивное исполнение поясняет кинематическая схема (рис 1). Кабина лифта уравнивается противовесом через канат на канатоведущем шкиве трения, который приводится в движение через редуктор от одного или двух двигателей. Электропривод лифта работает в повторно-кратковременном режиме с переменной нагрузкой.

Работа лифта осуществляется по следующему циклу:

- опускание кабины с четвертого этажа на первый этаж;
- стоянка на первом этаже (двигатель отключен),
- подъем кабины с первого этажа на второй этаж;
- стоянка на втором этаже (двигатель отключен);
- подъем кабины со второго этажа на третий этаж;
- стоянка на третьем этаже (двигатель отключен);
- подъем кабины с третьего этажа на четвертый этаж;
- стоянка на четвертом этаже (двигатель отключен).

После каждой стоянки масса груза в кабине изменяется (табл. 1).

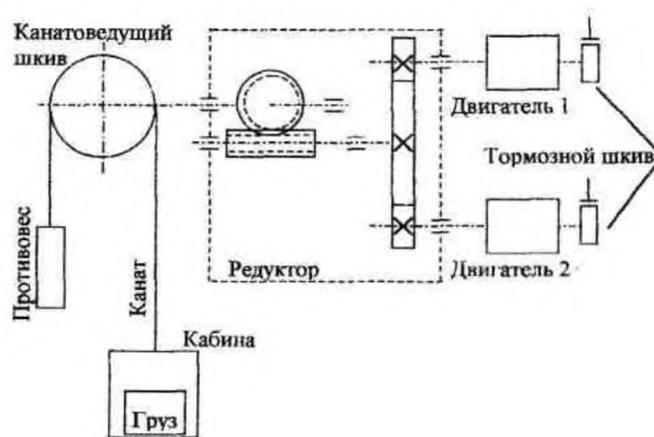


Рис. 1 . Кинематическая схема грузового лифта.

Таблица 1. Исходные данные по грузовому лифту

Параметр	Обозначение	Значение
Масса кабины, т	m_k	0,65
Номинальная грузоподъемность лифта, т	$m_{гп}$	3
Скорость движения кабины, м/с	V	0,6
Радиус канатоведущего шкива, м	$r_{ш}$	0,32
Момент инерции канатоведущего шкива, кг-м ²	$J_{ш}$	10
Максимально допустимое ускорение кабины, м/с ²	$a_{доп}$	2
Продолжительность включения, %	$PВ$	51
Масса груза при движении с четвертого этажа на первый (4 1), т	m_{41}	2,5
Масса груза (1 2), т	m_{12}	1,25
Масса груза (2 3), т	m_{23}	0,5
Предназначены для выполнения	m_{34}	2
Полная высота подъема, м	L	20
Число этажей	N	4
Коэффициент трения лифта о направляющие	m	0,05
КПД механических передач	$\eta_{п}$	0,6

Для заданного механизма требуется выполнить:

- выбор типа электропривода;
- выбор электродвигателя и его проверку по нагреву; расчет передаточного числа редуктора;

- выбор тиристорного преобразователя, силового трансформатора (токоограничивающего реактора), сглаживающего реактора (при необходимости);
- расчет элементов системы автоматического управления электроприводом - регулятора тока, звеньев цепи компенсации ЭДС, регулятора скорости, задачика интенсивности.

Практическое занятие №1.

Выбор типа электропривода и расчет мощности двигателя

Принимаем следующие решения:

- выбираем электропривод постоянного тока с тиристорным преобразователем электрической энергии;
- выбираем реверсивный двухкомплектный тиристорный преобразователь для цепи якоря с отдельным управлением комплектами;
- принимаем однозонное регулирование скорости (скорость двигателя не превышает номинального значения, ослабление магнитного потока двигателя не требуется).

Для выбора двигателя рассчитаем его требуемую номинальную мощность, исходя из нагрузочной диаграммы механизма (т.е. временной диаграммы моментов или сил статического сопротивления механизма на его рабочем органе). По рассчитанной мощности затем выполняется предварительный выбор двух двигателей привода. Рассмотрим расчет мощности двигателя.

Определим массу противовеса и построим нагрузочную диаграмму лифта (график статических моментов на канатоведущем шкиве). Расчет времени участков цикла на этапе предварительного выбора двигателя выполняем приблизительно, т.к. пока нельзя определить время разгона и замедления (суммарный момент инерции привода до выбора двигателя неизвестен).

Масса противовеса выбирается таким образом, чтобы противовес

уравновешивал кабину и половину массы номинального груза:

$$m_{\text{пр}} = 0,5m_{\text{гп}} + m_{\text{к}} = 0,5 \cdot 3 + 0,65 = 2,15 \text{ т.}$$

Активные составляющие момента статического сопротивления на канатоведущем шкиве определяются силами тяжести кабины с грузом и противовеса:

$$M_{ca(41)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{41} - m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g = (0,65 + 2,5 - 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 = 3,136 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{ca(12)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{12} - m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g = (0,65 + 1,25 - 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 = -0,784 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{ca(23)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{23} - m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g = (0,65 + 0,5 - 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 = -3,136 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{ca(34)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{34} - m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g = (0,65 + 2 - 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 = 1,568 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Реактивные составляющие момента статического сопротивления на канатоведущем шкиве определяются силами трения кабины и противовеса о направляющие:

$$M_{cp(41)}^{(\text{ш})} = -(m_{\text{к}} + m_{41} + m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g\mu = -(0,65 + 2,5 + 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 \cdot 0,05 = -0,83104 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{cp(12)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{12} + m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g\mu = (0,65 + 1,25 + 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 \cdot 0,05 = 0,63504 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{cp(23)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{23} + m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g\mu = (0,65 + 0,5 + 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 \cdot 0,05 = 0,51744 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{cp(34)}^{(\text{ш})} = (m_{\text{к}} + m_{34} + m_{\text{пр}})r_{\text{ш}}g\mu = (0,65 + 2 + 2,15) \cdot 0,32 \cdot 9,8 \cdot 0,05 = 0,75264 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Моменты статического сопротивления на канатоведущем шкиве представляют собой сумму активной и реактивной составляющей:

$$M_{c(41)}^{(\text{ш})} = M_{ca(41)}^{(\text{ш})} + M_{cp(41)}^{(\text{ш})} = 3,136 - 0,83104 = 2,30496 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(12)}^{(\text{ш})} = M_{ca(12)}^{(\text{ш})} + M_{cp(12)}^{(\text{ш})} = -0,784 + 0,63504 = -0,14896 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(23)}^{(\text{ш})} = M_{ca(23)}^{(\text{ш})} + M_{cp(23)}^{(\text{ш})} = -3,136 + 0,51744 = -2,61856 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(34)}^{(\text{ш})} = M_{ca(34)}^{(\text{ш})} + M_{cp(34)}^{(\text{ш})} = 1,568 + 0,75264 = 2,32064 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Угловая скорость канатоведущего шкива:

$$W(\text{ш}) = \frac{V}{r_{\text{ш}}} = \frac{0,6}{0,32} = 1,875 \text{ рад/с}$$

Расстояние между этажами:

$$L_{\text{эт}} = \frac{L}{N-1} = \frac{20}{4-1} = 6,66 \text{ м}$$

Время движения при перемещении на максимальное расстояние - три этажа (приблизительно):

$$t_{3\text{эт}} = \frac{3L_{\text{эт}}}{V} = \frac{3 * 6,66}{0,6} = 33,33 \text{ с}$$

Время движения при перемещении на один этаж (приблизительно):

$$t_{1\text{эт}} = \frac{L_{\text{эт}}}{V} = \frac{6,66}{0,6} = 11,11 \text{ с}$$

Время работы в цикле (приблизительно):

$$t_p = 3t_{1\text{эт}} + t_{3\text{эт}} = 3 * 11,11 + 33,33 = 66,66 \text{ с}$$

Время стоянки на этаже (приблизительно):

$$t_0 = \frac{t_p}{4} \left(\frac{100}{\text{ПВ}} - 1 \right) = \frac{66,66}{4} \left(\frac{100}{51} - 1 \right) = 16,013 \text{ с}$$

Возможный вид нагрузочной диаграммы лифта представлен на рис.2.

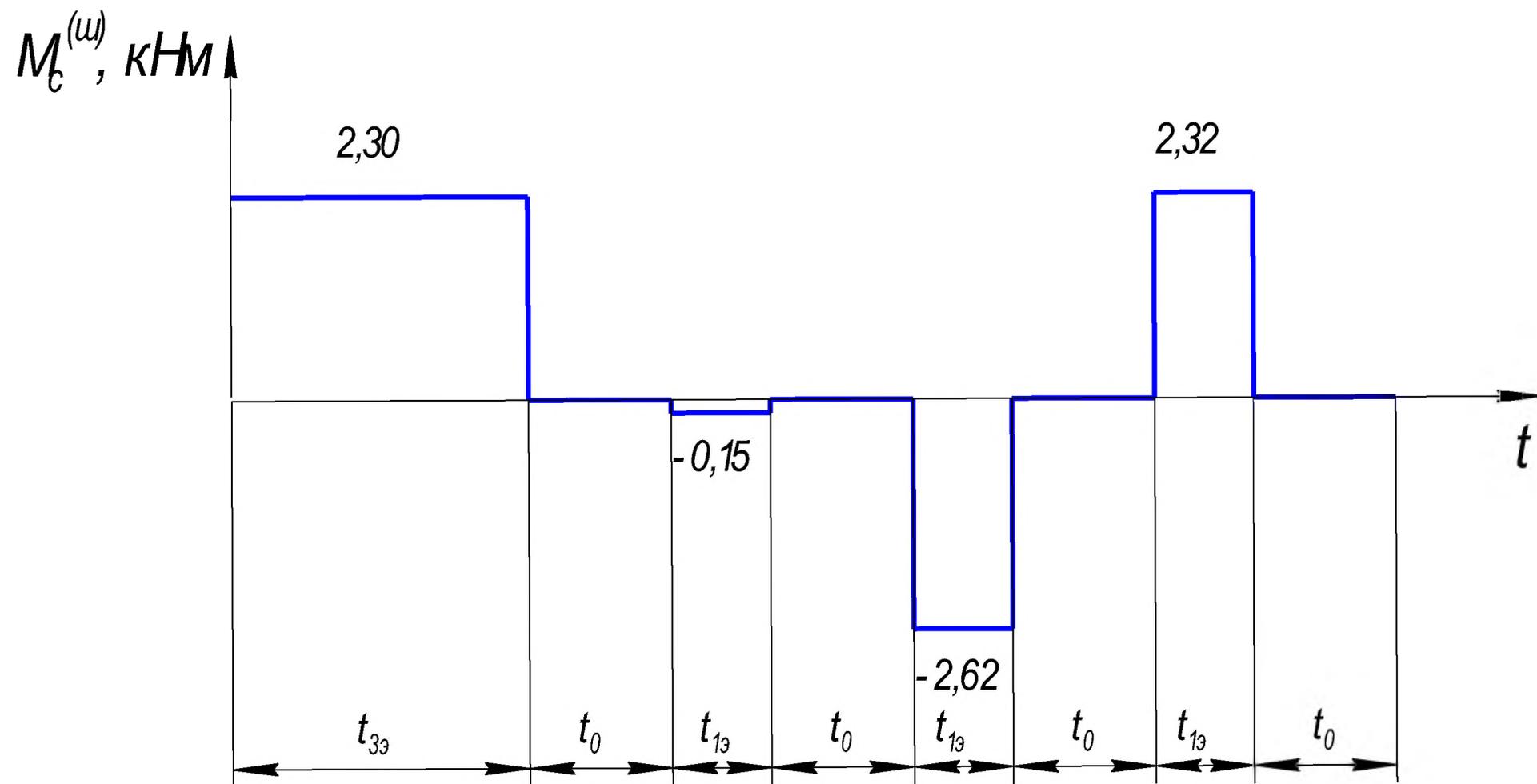


Рис.2. Нагрузочная диаграмма лифта

Эквивалентный статический момент на канатоведущем шкиве за время работы в цикле (с учетом влияния потерь в редукторе) составит: (1)

$$M_{c(экв)}^{(ш)*} = \sqrt{\frac{(M_{c(41)}^{(ш)*})^2 t_{3з} + (M_{c(12)}^{(ш)*})^2 t_{1з} + (M_{c(23)}^{(ш)*})^2 t_{1з} + (M_{c(34)}^{(ш)*})^2 t_{1з}}{t_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,30496^2 * 33,33 + (-0,14896)^2 * 11,11 + (-2,61856)^2 * 11,11 + 2,32064^2 * 11,11}{66,6}}$$

$$= 2,168 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Учет влияния потерь в редукторе выполняется подстановкой следующих значений в формулу (1):

■ в тормозном режиме:

$$M_c^{(ш)*} = M_{с(ш)} h_{п} = 2,168 * 0,6 = 1,301 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

■ в двигательном режиме:

$$M_c^{(ш)*} = M_{с(ш)} / h_{п} = 2,168 / 0,6 = 3,613 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Примечание. Двигательный режим имеет место, если знаки электромагнитного момента двигателя и его скорости одинаковы, тормозной режим - если различны. Скорость двигателя считается положительной при подъеме кабины, отрицательной - при опускании кабины. Положительное направление момента двигателя совпадает с положительным направлением его скорости.

При расчете требуемой номинальной мощности двигателя предполагаем, что будет выбран двигатель, номинальные данные которого определены для повторно-кратковременного режима работы и стандартного значения продолжительности включения ПВN=40%.

Расчетная номинальная мощность двигателя:

$$P_{рас} = K_3 M_{c(экв)}^{(ш)} W(ш) \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_N}} = 1,1 * 2,168 * 1,875 * \sqrt{\frac{51}{40}} = 5,0 \text{ кВт}$$

где K3 - коэффициент запаса (примем K3 = 1,1).

Предварительный выбор двигателя и расчет его параметров

Для лифта выбираем два двигателя серии Д21 с естественным охлаждением, номинальные данные которого определены для повторно-кратковременного режима работы с продолжительностью включения 40%.

Так как проектируется двухдвигательный привод, то выбираем два однотипных двигателя, так чтобы их суммарная номинальная мощность была не меньше расчетной номинальной мощности и была наиболее близка к ней.

Данные для двухдвигательного привода сведём в таблицу (табл. 2). В таблицу следует занести эквивалентные параметры двух двигателей. Выбираем параллельное соединение якорных обмоток.

Таблица 2

Эквивалентные параметры двух двигателей

Параметр	Обозначение	Значение
Мощность номинальная, кВт	PN	7,2
Номинальное напряжение якоря, В	UяN	220
Номинальный ток якоря, А	IяN	42
Номинальная частота вращения, об/мин	nN	1080
Максимально допустимый момент, Нм	Mmax	180
Сопротивление обмотки якоря (T=20 °C). Ом	Rяо	0,33
Сопротивление обмотки добавочных полюсов (T=20	Rдп	0,14
Момент инерции якоря двигателя, кг м ²	Jд	0,25
Число пар полюсов	рп	2
Максимально допустимый коэффициент пульсаций	kI(доп)	0,15

Эквивалентные параметры двух двигателей, не зависящие от способа соединения их обмоток, определяются по следующим формулам:

$$\text{номинальная мощность: } P_N = 2 P_N(1) = 2 \cdot 3,6 = 7,2 \text{ кВт}$$

$$\text{момент инерции: } J_D = 2 J_D(1) = 2 \cdot 0,125 = 0,25 \text{ кг'м}^2$$

$$\text{число пар полюсов: } p_n = p_n(1) = 2$$

$$\text{номинальная частота вращения: } n_N = n_N(1) = 1080 \text{ об/мин}$$

$$\text{максимально допустимый момент: } M_{\max} = 2 M_{\max}(1) = 2 \cdot 90 = 180 \text{ Н' м}$$

$$\text{максимально допустимый коэффициент пульсаций тока якоря: } k_I(\text{доп}) = 0,15$$

Другие эквивалентные параметры зависят от способа соединения обмоток двигателей. Для случая параллельного соединения обмоток

эквивалентные параметры определяются по следующим формулам:

$$\text{номинальное напряжение якоря: } U_{яN} = U_{яN(1)} = 220 \text{ В}$$

$$\text{номинальный ток якоря: } I_{яN} = 2 \cdot I_{яN(1)} = 2 \cdot 21 = 42 \text{ А}$$

$$\text{сопротивление якорной обмотки: } R_{я0} = 0,5R_{я0} = 0,5 \cdot 0,66 = 0,33 \text{ Ом}$$

$$\text{сопротивление обмотки добавочных полюсов: } R_{ДП} = 0,5R_{ДП} = 0,5 \cdot 0,28 = 0,14 \text{ Ом}$$

В дальнейших расчетных формулах для двухдвигательного привода подразумеваются эквивалентные параметры двух двигателей.

Сопротивление цепи якоря двигателя, приведенное к рабочей температуре:

$$R_{я} = kT (R_{я0} + R_{ДП}) = 1,38 (0,33 + 0,14) = 0,6486 \text{ Ом}$$

где kT - коэффициент увеличения сопротивления при нагреве до рабочей температуры ($kT = 1,38$ для изоляции класса Н при пересчете от 20°C).

Номинальная ЭДС якоря:

$$E_{яN} = U_{яN} - I_{яN} R_{я} = 220 - 42 \cdot 0,6486 = 192,76 \text{ В}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\Omega_N = n_N \frac{\pi}{30} = 1080 \frac{3,14}{30} = 113 \text{ рад/с}$$

Конструктивная постоянная двигателя, умноженная на номинальный магнитный поток:

$$c\Phi_N = \frac{E_{яN}}{\Omega_N} = \frac{192,76}{113} = 1,7 \text{ Вб}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_N = c\Phi_N I_{яN} = 1,7 \cdot 42 = 71,6 \text{ Н·м}$$

Момент холостого хода двигателя:

$$\Delta M = M_N - \frac{P_N}{\Omega_N} = 71,6 - \frac{7200}{113} = 7,9 \text{ Н·м}$$

Индуктивность цепи якоря двигателя:

$$L_{я} = \frac{cU_{яN}}{I_{яN}\Omega_N p_N} = \frac{0,6 \cdot 220}{42 \cdot 113 \cdot 2} = 0,014 \text{ Гн}$$

В формуле коэффициент C принимается равным 0,6 для некомпенсированного (двигатель серии Д - некомпенсированный).

Расчет передаточного числа редуктора

Расчет передаточного числа редуктора выполняется так, чтобы максимальной скорости рабочего органа механизма соответствовала номинальная скорость двигателя. Для привода грузового лифта:

$$i_p = \frac{\Omega_N}{\Omega^{(u)}} = \frac{113}{1,875} = 60,3$$

Практическое занятие №2.

Расчет и построение нагрузочной диаграммы двигателя и его проверка по нагреву

Для проверки предварительно выбранного двигателя по нагреву выполним построение упрощенной нагрузочной диаграммы двигателя (т.е. временной диаграммы момента двигателя без учета электромагнитных переходных процессов). Для ее построения произведем приведение моментов статического сопротивления и рабочих скоростей к валу двигателя, определим суммарный момент инерции привода и зададимся динамическим моментом при разгоне и замедлении привода. Рассмотрим расчет нагрузочной диаграммы двигателя отдельно для каждого производственного механизма, предложенного в курсовом проекте. По результатам расчета строится нагрузочная диаграмма, а также тахограмма двигателя (рис.3.)

Момент статического сопротивления, приведенный к валу двигателя:

$$M_{c(41)} = \frac{M^{(u) \times}_{c(41)}}{i_p} + \text{sign}(\Omega)\Delta M = \frac{2304}{60,3} - 7,9 = 30,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(12)} = \frac{M^{(u) \times}_{c(12)}}{i_p} + \text{sign}(\Omega)\Delta M = \frac{-148}{60,3} + 7,9 = 5,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(23)} = \frac{M^{(u) \times}_{c(23)}}{i_p} + \text{sign}(\Omega)\Delta M = \frac{-2618}{60,3} + 7,9 = -35,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c(34)} = \frac{M^{(u) \times}_{c(34)}}{i_p} + \text{sign}(\Omega)\Delta M = \frac{2320}{60,3} + 7,9 = 46,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где X,Y- индексы, которые применяют значения 41,12,23,34 (т.е. данная формула используется четыре раза); $\text{sign}(W)$ – функция знака скорости.

Суммарный момент инерции механической части привода:

$$J_{\Sigma} = \delta J_{Д} + \frac{J_{ш}}{i_p^2} + (m_k + m_{en} + m_{np}) \left(\frac{r_{ш}}{i_p} \right)^2 =$$

$$= 1,2 \cdot 0,25 + \frac{10}{60,3^2} + (650 + 3000 + 2150) \left(\frac{0,32}{60,3} \right)^2 = 0,466 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

где δ — коэффициент, учитывающий моменты инерции полумуфта и редуктора (принимаем $\delta = 1,2$).

Модуль динамического момента двигателя определяем по условию максимального использования двигателя по перегрузочной способности:

$$|M_{дин}| = k(M_{MAX} - |M_C|_{MAX}) = 0,95(180 - 46,4) = 126,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где k - коэффициент, учитывающий увеличение максимального момента на уточненной нагрузочной диаграмме, $k=0,95$. $|M_C|_{MAX}$ – максимальный по модулю статический момент, приведенный к валу двигателя.

Ускорение вала двигателя в переходных режимах:

$$\varepsilon = \frac{|M_{дин}|}{J_{\Sigma}} = \frac{126,9}{0,466} = 272,3 \text{ м} / \text{с}^2$$

Ускорение кабины лифта:

$$a = \frac{\varepsilon \cdot r_{ш}}{i_p} = \frac{272,3 \cdot 0,32}{60,3} = 1,45 \text{ м} / \text{с}^2$$

Ускорение кабины лифта не должно превышать максимально допустимого по исходным данным.

Разбиваем нагрузочную диаграмму на 16 интервалов: 4, 8, 12, 16 – интервалы пауз; 1, 5, 9, 13 - интервалы разгона; 3, 7, 11, 15 - интервалы замедления; 2, 6, 10, 14 - интервалы работы с установившейся скоростью.

Выполним расчет нагрузочной диаграммы.

Продолжительность интервалов разгона-замедления:

$$t_{\text{пер}} = t_1 = t_3 = t_5 = t_7 = t_9 = t_{11} = t_{13} = t_{15} = \frac{WN}{\varepsilon} = \frac{113}{272,3} = 0,4 \text{ с}$$

Путь кабины при разгоне-замедлении:

$$L_{\text{пер}} = \frac{Vt_{\text{пер}}}{2} = \frac{0,6 * 0,4}{2} = 0,12 \text{ м}$$

Путь кабины при перемещении на три этажа, пройденный на постоянной скорости:

$$L_{3\text{эт(уст)}} = 3L_{\text{эт}} - 2L_{\text{пер}} = 3 * 6,66 - 2 * 0,12 = 19,75 \text{ м}$$

Путь кабины при перемещении на один этаж, пройденный на постоянной скорости:

$$L_{1\text{эт(уст)}} = L_{\text{эт}} - 2L_{\text{пер}} = 6,66 - 2 * 0,12 = 6,41 \text{ м}$$

Время движения с постоянной скоростью при перемещении на три этажа:

$$t_{3\text{эт(уст)}} = t_2 = \frac{L_{3\text{эт(уст)}}}{V} = \frac{19,75}{0,6} = 32,92 \text{ с}$$

Время движения с постоянной скоростью при перемещении на один этаж:

$$t_{1\text{эт(уст)}} = t_6 = t_{10} = t_{14} = \frac{L_{1\text{эт(уст)}}}{V} = \frac{6,41}{0,6} = 10,70 \text{ с}$$

Время работы в цикле:

$$t_p = 3t_{1\text{эт(уст)}} + t_{3\text{эт(уст)}} + 8t_{\text{пер}} = 3 * 10,70 + 32,92 + 8 * 0,4 = 68,33 \text{ с}$$

Время стоянки на этаже:

$$t_0 = \frac{t_p}{4} \left(\frac{100}{\text{ПВ}} - 1 \right) = \frac{68,33}{4} \left(\frac{100}{51} - 1 \right) = 16,4 \text{ с}$$

Моменты двигателя на интервалах разгона:

$$M_1 = M_{c(41)} - |M_{\text{дин}}| = 30,3 - 126,9 = -96,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_5 = M_{c(12)} + |M_{\text{дин}}| = 5,5 + 126,9 = 132,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_9 = M_{c(23)} + |M_{\text{дин}}| = -35,5 + 126,9 = 91,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{13} = M_{c(34)} + |M_{\text{дин}}| = 46,4 + 126,9 = 173,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты двигателя на интервалах замедления:

$$M_3 = M_{c(41)} + |M_{\text{дин}}| = 30,3 + 126,9 = 157,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_7 = M_{c(12)} - |M_{дин}| = 5,5 - 126,9 = -121,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{11} = M_{c(23)} - |M_{дин}| = -35,5 - 126,9 = -162,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{15} = M_{c(34)} - |M_{дин}| = 46,4 - 126,9 = -80,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Моменты двигателя на интервалах движения с постоянной скоростью:

$$M_2 = M_{c(41)} = 30,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_6 = M_{c(12)} = 5,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{10} = M_{c(23)} = -35,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{14} = M_{c(34)} = 46,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

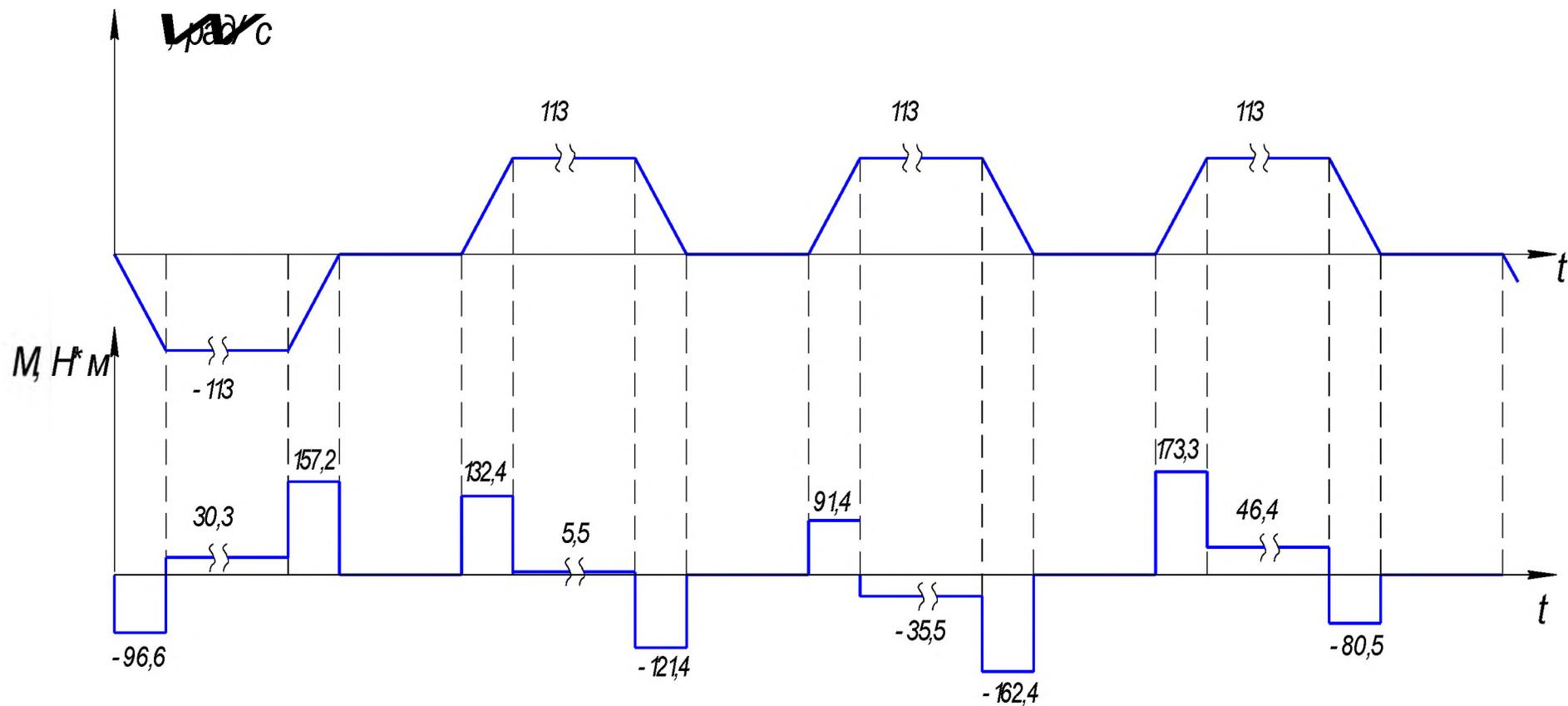


Рис.3. Тахограмма и нагрузочная диаграмма двигателя электропривода грузового лифта

Проверка двигателя по нагреву

Используя нагрузочную диаграмму двигателя, определяем эквивалентный по нагреву момент за время работы в цикле.

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}} =$$
$$= \sqrt{\frac{96,6^2 \cdot 0,4 + 30,3^2 \cdot 32,92 + 157,2^2 \cdot 0,4 + 132,4^2 \cdot 0,4 + 5,5^2 \cdot 10,7 + 121,4^2 \cdot 0,4 + 91,4^2 \cdot 0,4 + 35,5^2 \cdot 10,7 + 162,4^2 \cdot 0,4 + 173,3^2 \cdot 0,4 + 46,4^2 \cdot 10,7 + 80,5^2 \cdot 0,4}{68,33}} =$$
$$= \sqrt{\frac{122089}{68,33}} = 42,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где n - число интервалов нагрузочной диаграммы, на которых двигатель находится в работе (интервалы пауз не учитываются).

Для лифта, работающего в повторно-кратковременном режиме, продолжительность включения в рабочем цикле отличается от номинальной продолжительности включения двигателя. Поэтому для этих приводов необходимо выполнить приведение эквивалентного момента к номинальной продолжительности включения двигателя.

$$M_{\text{ЭКВ(ПР)}} = M_{\text{ЭКВ}} \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_N}} = 42,27 \sqrt{\frac{51}{40}} = 47,73 \text{ Нм}$$

Проверка теплового состояния двигателя осуществляется сравнением приведенного эквивалентного момента с номинальным моментом двигателя. Двигатель проходит по нагреву, если выполняется неравенство:

$$M_{\text{ЭКВ(ПР)}} \leq M_N, \text{ т.е.} \dots \dots \dots 47,73 \leq 71,6$$

Практическое занятие №3.

Выбор основных узлов силовой части электропривода

Выбор тиристорного преобразователя

Для обеспечения реверса двигателя и рекуперации энергии в тормозных режимах выбираем двухкомплектный реверсивный преобразователь для питания цепи якоря. Принимаем встречно-

параллельную схему соединения комплектов и отдельное управление комплектами. Выбираем трехфазную мостовую схему тиристорного преобразователя. Т.к. проектирование самого тиристорного преобразователя не входит в задачи курсового проекта, то выбираем стандартный преобразователь, входящий в состав комплектного тиристорного электропривода КТЭУ.

- Номинальное напряжение U_{DN} преобразователя выбирается так, чтобы оно соответствовало номинальному напряжению якоря двигателя (U_{DN} должно быть больше номинального напряжения якоря двигателя на 5-15%).
- Номинальный ток преобразователя I_{DN} выбирается из ряда стандартных значений. Его значение должно быть равным или ближайшим большим по отношению к номинальному току якоря двигателя.

$$U_{яN}=220 \text{ В}, U_{DN}=230 \text{ В}, I_{DN}=25 \text{ А}.$$

Выберем способ связи тиристорного преобразователя с сетью. Питание силовых цепей в электроприводах КТЭУ с номинальными токами до 1000 А осуществляется от трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением U_с=380 В через токоограничивающий реактор. Для связи тиристорного преобразователя с сетью применяем понижающий трансформатор.

Питание цепи возбуждения в электроприводе КТЭУ выполняется от однофазной сети переменного тока с напряжением 380 В через мостовой выпрямитель. Обмотки возбуждения двигателей соединяются параллельно.

Выбор силового трансформатора

Выбираем трансформатор типа ТСП - трехфазный двухобмоточный сухой с естественным воздушным охлаждением открытого исполнения. Номинальный вторичный ток трансформатора I_{2N} должен соответствовать номинальному току тиристорного преобразователя I_{dN}=25 А. Эти токи для трехфазной мостовой схемы преобразователя связаны по формуле:

$$I_{2N}=0,816I_{dN}=0,816 \cdot 25=20,4 \text{ А}$$

Выпишем данные выбранного трансформатора:

Тип трансформатора – ТСП -10/0,7-УХЛ4;

схема соединения первичных и вторичных обмоток – Y/D;

номинальная мощность $S_T=7,3$ кВА;

номинальное линейное напряжение первичных обмоток $U_{1N}=380$ В;

номинальное линейное напряжение вторичных обмоток $U_{2n}=205$ В;

номинальный линейный ток вторичных обмоток $I_{2N}=20,5$ А;

мощность потерь короткого замыкания $P_k=320$ Вт;

относительное напряжение короткого замыкания $u_k=4,7\%$.

Рассчитаем параметры трансформатора:

Коэффициент трансформации:

$$n_{21} = \frac{U_{2N}}{U_{1N}} = \frac{205}{380} = 0,54$$

Номинальный линейный ток первичных обмоток:

$$I_{1N} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = \frac{7300}{380 \cdot \sqrt{3}} = 11,09 \text{ А}$$

Активное сопротивление обмоток одной фазы трансформатора:

$$R_T = \frac{P_k}{3I_{1N}^2} n_{21}^2 = \frac{320}{3 \cdot 11,09^2} \cdot 0,54^2 = 0,25 \text{ Ом}$$

Активная составляющая напряжения короткого замыкания:

$$u_{ка} = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_{1N} I_{1N}} \cdot 100\% = \frac{320}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 11,09} \cdot 100\% = 4,4\%$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания:

$$u_{кр} = \sqrt{u_k^2 - u_{ка}^2} = \sqrt{4,7^2 - 4,4^2} = 1,7\%$$

Индуктивное сопротивление обмоток фазы трансформатора:

$$X_T = \frac{u_{кр}}{100} \cdot \frac{U_{1N}}{\sqrt{3} \cdot I_{1N}} \cdot n_{21}^2 = \frac{1,7}{100} \cdot \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,09} \cdot 0,54^2 = 0,098 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмоток одной фазы трансформатора:

$$L_T = \frac{X_T}{\omega_c} = \frac{0,098}{314} = 3,12 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

где ω_c -угловая частота сети (при частоте питающей сети 50Гц $\omega_c=314$ рад/с).

Выбор сглаживающего реактора.

Сглаживающий реактор включается в цепь выпрямленного тока преобразователя с целью уменьшения переменной составляющей тока (пульсаций). Пульсации выпрямленного тока должны быть ограничены на уровне допустимого значения для выбранного двигателя. Максимально допустимый коэффициент пульсаций k_i (ДОП) задается в числе данных двигателя и представляет собой отношение действующего значения переменной составляющей тока якоря к его номинальному значению. Для расчета индуктивности сглаживающего реактора определим требуемую индуктивность всей главной цепи системы «тиристорный преобразователь - двигатель» по условию ограничения пульсаций.

ЭДС преобразователя при угле управления $\alpha = 0$:

$$E_{d0} = K_E U_2 N = 1,35 \cdot 205 = 276,75 \text{ В}$$

где K_E - коэффициент, зависящий от схемы преобразователя (для трехфазной мостовой схемы $K_E=1.35$).

Минимальная эквивалентная индуктивность главной цепи по условию ограничения пульсаций выпрямленного тока:

$$L_{\ominus(\min)} = \frac{k_U E_{d0}}{k_{i(\text{ДОП})} p \Omega_c I_{ЯН}} = \frac{0,13 \cdot 276,75}{0,15 \cdot 6 \cdot 314 \cdot 42} = 0,00303 \text{ Гн}$$

где k_U - коэффициент пульсаций напряжения (для трехфазной мостовой схемы $k_U=0,13$);

p - пульсность преобразователя (для трехфазной мостовой схемы $p=6$),
 $\Omega_c = 314 \text{ рад/с}$

Расчетная индуктивность сглаживающего реактора:

$$L_C = L_{\ominus(\min)} - 2L_T - L_{Я} = 0,00303 - 2 \cdot 3,12 \cdot 10^{-4} - 0,014 = -0,012 \text{ Гн}$$

Так как расчетная индуктивность оказалась отрицательной или равной нулю, то это означает, что сглаживающий реактор не требуется. В этом случае собственной индуктивности главной цепи достаточно для ограни-

чения пульсаций тока.

Практическое занятие №4. Разработка принципиальной электрической схемы силовой части электропривода

Принимаем комплектный тиристорный электропривод унифицированной серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт:

КТЭУ-42/220-2321-УХЛ4.

Цифры типобразования имеют следующие значения:

42 - номинальный ток электропривода;

220 - номинальное напряжение электропривода;

2 - электропривод двухдвигательный;

3- режим работы: реверсивный с изменением полярности напряжения на якоре;

2 - исполнение ТП по способу связи с сетью: через трансформатор;

1 - основной регулируемый параметр: скорость, однозонное регулирование;

УХЛ4 - исполнение для районов с умеренным и холодным климатом.

Принципиальная электрическая схема силовой части электропривода составлена в соответствии с функциональными схемами электроприводов КТЭУ, выбранными способами соединения обмоток двигателя и связи преобразователя с сетью. На принципиальной схеме, в отличие от функциональной, подробно показаны схемы преобразователей.

На рис. 4 приведена схема реверсивного электропривода серии КТЭУ на ток до 200 А. Тиристорный преобразователь ТП, состоящий из двух встречно включенных мостов VSF, VSB, получает питание от сети через автоматический выключатель QF1 и трансформатор ТМ. На стороне постоянного тока защита осуществляется автоматическим выключателем QF2. Реле максимального тока КА1, КА2 воздействуют на отключение линейных контакторов КМ1 и КМ2, которые служат для частой коммутации якорной цепи. Динамическое торможение электродвигателей М1 и М2

осуществляется через контакторы KV1, KV2 и резисторы RV1 и RV2. Трансформатор T1 и диодный мост V служат для питания обмоток возбуждения LM1 и LM2 двигателей M1 и M2. Напряжение управления для СИФУ возбудителя вырабатывается в системе управления электроприводом СУ. Сигналы о токах якорей двигателей и токах возбуждения, получаемые с шунтов RS1 - RS3, сигналы о напряжениях на якорях электродвигателей, снимаемых с потенциометров RP1 и RP2 поступают в СИФУ. В двухдвигательных электроприводах обмотки возбуждения двигателей соединяются параллельно.

Преобразовательная часть электропривода состоит из силовых тиристоров, число и схема соединения которых определяются параметрами электропривода и примененных тиристоров, системы их охлаждения, защитных RC-цепей, системы гальванического разделения и преобразования уровня управляющих импульсов, СИФУ, системы защиты и сигнализации. К преобразовательной части относят также трансформатор, автоматические выключатели на стороне постоянного и переменного тока, сглаживающий реактор.

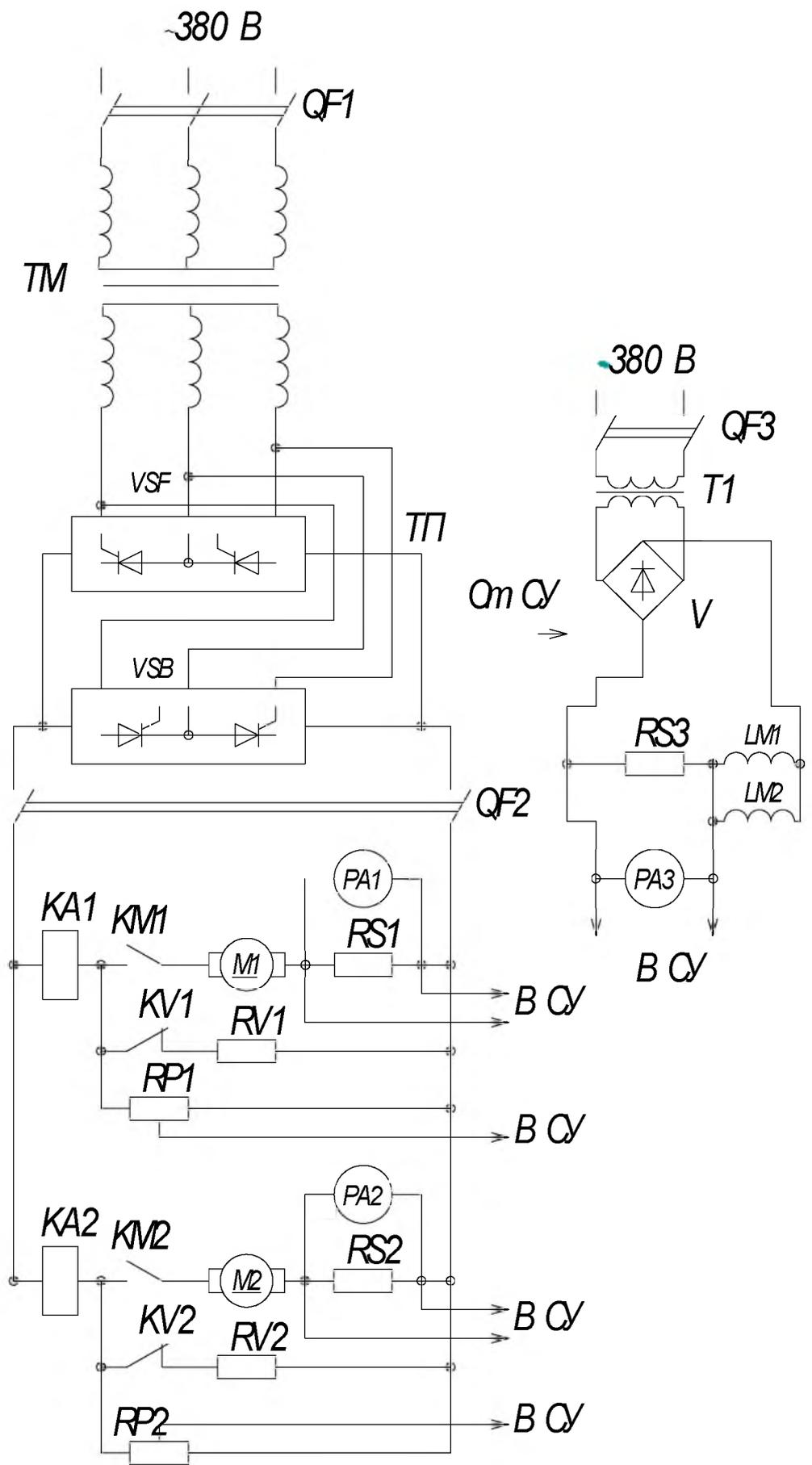


Рис. 4.Силовая часть реверсивного электропривода серии КТЭУ на ток до 200 А

На рис. 5 показана функциональная схема преобразовательной части электропривода серии КТЭУ с номинальным током до 200 А. Узел фазосмещения АТ формирует шесть последовательностей импульсов для выпрямительного моста VSF или для моста VSB, которые усиливаются усилителями А-F и А-В. Сдвиг импульсов относительно силового напряжения определяется напряжением управления u_u . Для синхронизации с питающей сетью на вход АТ поступает опорное напряжение $U_{оп}$ после фильтра Z. Выбор работающего моста осуществляется логическим переключающим устройством АВ в зависимости от полярности напряжения переключения u_p и абсолютного значения тока нагрузки $|id|$. В качестве датчика тока используются трансформаторы тока и выпрямитель V. Устройство АВ формирует логические сигналы выбора моста VSF или VSB, переключает полярность напряжения задания начального угла U_0 и вырабатывает сигнал бестоковой паузы $BF1=1$, по которому снимаются импульсы с обоих выпрямительных мостов. Сигнал $BF2$, появляющийся одновременно с сигналом $BF1$, но исчезающий несколько позже, служит для отключения сигнала задания тока во время бестоковой паузы. По сигналу ucr (срыв импульсов) импульсы снимаются с обоих выпрямительных мостов. Защита электропривода осуществляется узлом АF, который воспринимает перегрузки в цепи переменного тока $|id|$ и в цепи постоянного тока id , а также сигнал "Авария", вырабатываемый в схеме управления электроприводом. Узел АF через узел ускоренного отключения АR отключает автоматический выключатель главной цепи QF, воздействуя на его независимый расцепитель R, снимает сигнал готовности в схеме управления электроприводом и сдвигает управляющие импульсы в инверторную область.

Система импульсно-фазового управления предназначена для преобразования выходного напряжения системы управления в последовательность подаваемых на тиристоры отпирающих импульсов, момент формирования которых смещен относительно моментов естественного отпирания тиристоров на угол α , зависящий от значения. В

одного устройства фазосмещения для обоих выпрямительных мостов в реверсивных электроприводах, высокочастотное заполнение узких отпирающих импульсов, использование сигналов с трансформаторов переменного тока для работы логического переключающего устройства.

Как следует из функциональной схемы, приведенной на рис. 5., СИФУ состоит из узла формирования опорных напряжений, узла фазосмещения и переключающего устройства АВ.

Узел формирования опорных напряжений включает в себя трехфазный трансформатор с двумя группами вторичных обмоток, которые можно включать по схемам звезды или треугольника, и ячейку фильтра типа ЯФУ0176 с тремя каналами апериодических фильтров, обеспечивающих фазовый сдвиг на 60 (240 при учете инвертирования напряжения усилителями).

Библиографический список

1. Задания и методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизированный электропривод».- Екатеринбург: Изд-во Рос.гос.проф.-пед.ун.-та, 2002.68с.

2.Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат. 1985.-560 с.,ил.

3.Комплектные тиристорные электроприводы :Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горбец, Б.И. Мошкович и др.;/Под. ред.кан.техн.наук В.М. Перельмутера..-М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.

4. Тиристорные электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт/ И.Х. Евзеров, В.М. Перельмутера, А.А. Ткаченко.- М.: Энергоатомиздат, 1988. - 96с.: ил.- (Б-ка электромонтёра; Вып.606).

5.Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов.- 6-е изд., доп. и перераб.,- М.: Энергоиздат, 1981- 576 с.,ил.