

2.1 Расчет мощности электродвигателя кабельного барабана

Примем за исходные данные следующие параметры и условия работы каротажной лебедки:

$$d_6=0,5 \text{ м}; d_k=0,0102 \text{ м}; l_6=0,96 \text{ м};$$

$$L_k=3 \text{ 500 м}; m_{k,y}=0,422 \text{ кг/м}; V_{г.п}=0,0254 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{г.п}=120 \text{ кг}; i_{п}=30,735 \text{ о.е.}; \eta_{п}=0,84 \text{ о.е.}$$

$$\rho_{с.ж}=1 \text{ 000 кг/м}^3, \rho_{с.ж}=1 \text{ 730 кг/м}^3, \rho_{с.ж}=2 \text{ 200 кг/м}^3).$$

Диаметр намотки кабеля на барабан рассчитаем относительно числа слоев $N=1,2,3,\dots$ каротажного грузонесущего кабеля на барабане, начиная с пустого барабана:

$$d_{к.б.}(N)=d_6+(2N-1)d_k, \quad (2.1)$$

где d_6 – диаметр барабана;

$$N=1,2,3,\dots;$$

d_k – диаметр каротажного грузонесущего кабеля, м.

Остаточная длина каротажного грузонесущего кабеля, намотанного на барабан

$$L_{к.б.}(N)=w\pi(Nd_6+N^2d_k), \quad (2.2)$$

где $w = l_6/d_k$ – число витков кабеля в одном слое намотки;

l_6 – длина барабана, м.

Сила тяги, создаваемая барабаном для геофизического прибора, находящегося в сухой скважине:

$$F_{мс}(N)=[(L_k-L_{к.б.}(N))m_{к,y}]g+m_{г.п}g, \quad (2.3)$$

где L_k – полная длина каротажного грузонесущего кабеля, м;

$m_{к,y}$ – масса удельная каротажного грузонесущего кабеля, кг/м;

$m_{г.п}$ – масса геофизического прибора, кг;

					4ЭП63а1.1.01.020000ПЗ		
					4ЭП63а1.1.00.000000ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Пешкова М.Н.				2 Расчетная часть		
Провер.	Горячев В.Ф.						
Реценз.							
Н.контр.	Горячев В.Ф.						
Контр.	Соловьев В.А.				Кафедра ЭПАПУ		
					Лит.	Лист	Листов
						18	45

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Сила тяги, создаваемая барабаном для геофизического прибора, находящегося в скважине, заполненной жидкостью или буровым раствором:

$$F_{\text{те}}(N) = [(L_{\text{к}} - L_{\text{к.б}}(N))(m_{\text{к.у}} - s_{\text{к}} \rho_{\text{с.ж}})]g + (m_{\text{з.п}} - V_{\text{з.п}} \rho_{\text{с.ж}})g, \quad (2.4)$$

где $s_{\text{к}} = \pi d_{\text{к}}^2 / 4$ – площадь поперечного сечения каротажного грузонесущего кабеля, м^2 ;

$V_{\text{г.п}}$ – объем геофизического прибора, м^3 ;

$\rho_{\text{с.ж}}$ – плотность скважинной жидкости (бурового раствора), кг/м^3 .

Так как геофизические исследования в скважинах в основном производятся при подъеме геофизического прибора, то момент сопротивления, приведенный к валу двигателя, при статической нагрузке:

$$M_{\text{с}}(N) = \frac{F_{\text{те}}(N) d_{\text{к.б}}(N)}{2 i_{\text{п}} \eta_{\text{п}}}, \quad (2.5)$$

где $i_{\text{п}}$ – общее передаточное число от вала электродвигателя к барабану намотки каротажного грузонесущего кабеля;

$\eta_{\text{п}}$ – к.п.д. кинематической цепи, учитывающий потери в редукторе, цепной передаче, подшипниках качения и трение в блоках.

На рисунке 2.1 приведены графики момента сопротивления, создаваемого геофизическим прибором в сухой скважине $M_{\text{с}}(N)$ (кривая 1), и момента сопротивления, создаваемого геофизическим прибором в скважине, заполненной буровым раствором:

- кривая 2 – $\eta_{\text{с.ж}} = 1\,000\, \text{кг/м}^3$,
- кривая 3 – $\eta_{\text{с.ж}} = 1\,730\, \text{кг/м}^3$,
- кривая 4 – $\eta_{\text{с.ж}} = 2\,200\, \text{кг/м}^3$), от числа слоев каротажного грузонесущего кабеля на барабане.

Анализ полученных зависимостей $M_{\text{с}}(N)$ показывает, что учет особенностей работы геофизического прибора в буровом растворе существенно снижает статический момент сопротивления, приведенный к валу двигателя, и, как следствие, установленную мощность двигателя.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

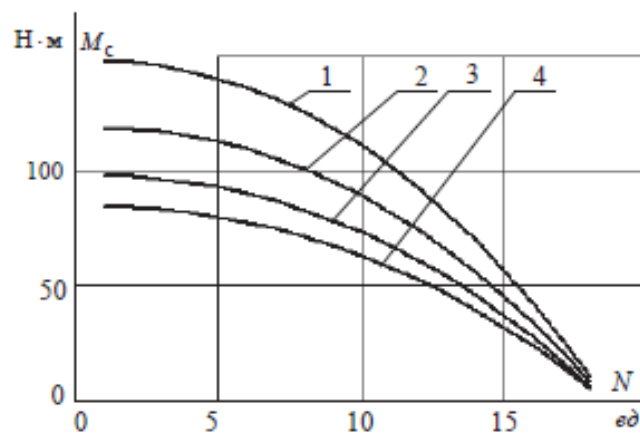


Рисунок 2.1 - Зависимость статического момента сопротивления от слоя N каротажного грузонесущего кабеля на барабане

Линейная скорость проведения каротажа находится в диапазоне от 50 до 3 000 м/час или от $v_{\min}=0,014$ м/с до $v_{\max}=0,83$ м/с и зависит от методов геофизических исследований в скважине. Минимальная или максимальная скорость вращения барабана также зависит от числа слоев кабеля на барабане. Необходимо, чтобы электропривод обеспечивал минимальную скорость подъема, при максимальном числе слоев каротажного грузонесущего кабеля на барабане, и максимальную скорость подъема, при наименьшем числе слоев кабеля.

Для приведенных ранее параметров каротажного подъемника эти условия выполняются при следующих угловых скоростях вращения двигателя: $\omega_{\min} = 3,083$ рад/с и $\omega_{\max} = 312,12$ рад/с. Диапазон регулирования скорости двигателя $D = \omega_{\max}/\omega_{\min} = 312,12/3,083=101,2$, что определяет способ регулирования скорости асинхронного двигателя – векторное управление.

Одновременно с изменением момента сопротивления на валу двигателя изменяется и эквивалентный момент инерции электропривода каротажного подъемника, приведенный к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = k_{ny} J_{\partial} + \frac{J_6(N)}{i_n^2} + m_{к.з}(N) \rho^2(N), \quad (2.6)$$

где $k_{ny} = 1,05 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий момент инерции соединительной муфты и первой шестерни редуктора электропривода;

J_d – момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_b(N)$ – момент инерции барабана с N слоями кабеля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$$m_{\kappa, z}(N) = (L_{\kappa} - L_{\kappa, b}(N)) m_{\kappa, y} + m_{z, n}, \quad (2.7)$$

– масса геофизического прибора с кабелем в сухой скважине или

$$m_{\kappa z}(N) = (L_{\kappa} - L_{\kappa b}(N)) (m_{\kappa y} + s_{\kappa} \rho_{с.ж}) + (m_{zn} + V_{zn} \rho_{с.ж}), \quad (2.8)$$

– масса геофизического прибора с кабелем в скважине, заполненной жидкостью или буровым раствором, кг ;

$\rho = v(N)/\omega_{дв}(N)$ – радиус приведения геофизического прибора с кабелем в скважине к валу двигателя, м/рад ;

$v(N)$ – линейная скорость геофизического прибора в скважине, м/с ;

$\omega_{дв}(N)$ – угловая скорость двигателя при N слое кабеля на барабане, рад/с .

с.

При подъеме геофизического прибора радиус приведения

$$\rho = \frac{v(N)}{\omega_{дв}(N)} = \frac{\omega_{бар}(N) \cdot \frac{d_{\kappa, b}(N)}{2}}{\omega_{дв}(N)} = \frac{d_{\kappa, b}(N)}{2i_n}, \quad (2.9)$$

где $\omega_{бар}(N)$ – угловая скорость барабана при N слое кабеля на барабане, рад/с .

Тогда (1) преобразуется к виду (2):

$$J_{\Sigma} = k_{ny} J_d + \frac{J_{bn} + \left[\frac{d_{\sigma}^2 + d_{\kappa b}^2(N)}{8} L_{\kappa b}(N) m_{\kappa y} \right]}{i_n^2} + m_{\kappa z}(N) \left(\frac{d_{\kappa b}(N)}{2i_n} \right)^2 \quad (2.10)$$

На рисунке 2.2 приведены графики суммарного момента инерции электропривода, приведенного к валу двигателя, для геофизического прибора в сухой скважине $J_{\Sigma}(N)$ (кривая 1) и момента инерции электропривода в скважине, заполненной буровым раствором (кривая 2 – $\rho_{с.ж}=1\,000\, \text{кг/м}^3$, кривая 3

– $\rho_{с.ж}=1\,730\text{ кг/м}^3$, кривая 4 – $\rho_{с.ж}=2\,200\text{ кг/м}^3$), от числа слоев N каротажного грузонесущего кабеля на барабане.

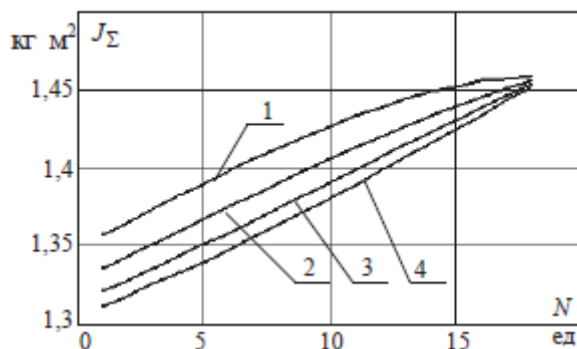


Рисунок 2.2 –Зависимость момента инерции электропривода J_{Σ} от слоя N каротажного грузонесущего кабеля на барабане

Анализ графиков показывает, что суммарный момента инерции электропривода J_{Σ} , приведенный к валу двигателя, незначительно изменяется как от числа слоев N каротажного грузонесущего кабеля на барабане, так и от плотности бурового раствора $\rho_{с.ж}$. Это объясняется, в первую очередь, большим передаточным числом от вала электродвигателя к барабану намотки каротажного грузонесущего кабеля и малым радиусом приведения поступательно движущихся элементов – геофизического прибора с кабелем в скважине.

Незначительные изменения момента инерции электропривода, приведенного к валу двигателя, позволяют выполнить асинхронный частотно-регулируемый электропривод подъемника с векторным регулированием скорости, а его регулятор скорости – с постоянным коэффициентом усиления.

Система управления асинхронным электроприводом с преобразователем частоты, обеспечивающая диапазон регулирования скорости $D = 1:100$, может быть построена с модальным или подчиненным [13–17] регулированием. Несмотря на высокое быстродействие электроприводов с модальным регулятором [11], при выполнении электроприводов каротажных подъемников предпочтение следует отдавать системам подчиненного регулирования [13, 7], которые обеспечивают простоту настройки регуляторов

промышленных электроприводов, особенно при необходимости добавления дополнительного контура регулирования линейной скорости подъемника.

Функциональная схема асинхронного электропривода каротажного подъемника с векторным регулированием скорости приведена на рисунке 2.3.

На функциональной схеме рисунок 2.3 приняты следующие обозначения: М – трехфазный асинхронный двигатель; ПЧ – двухзвенный преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения; РП – регулятор потока сцепления; РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; ПКП – преобразователь координат прямой; ПКО – преобразователь координат обратный; Б – барабан; МР – мерный ролик; ГП – геофизический прибор; ВР – датчик скорости; ИДП – импульсный датчик положения.

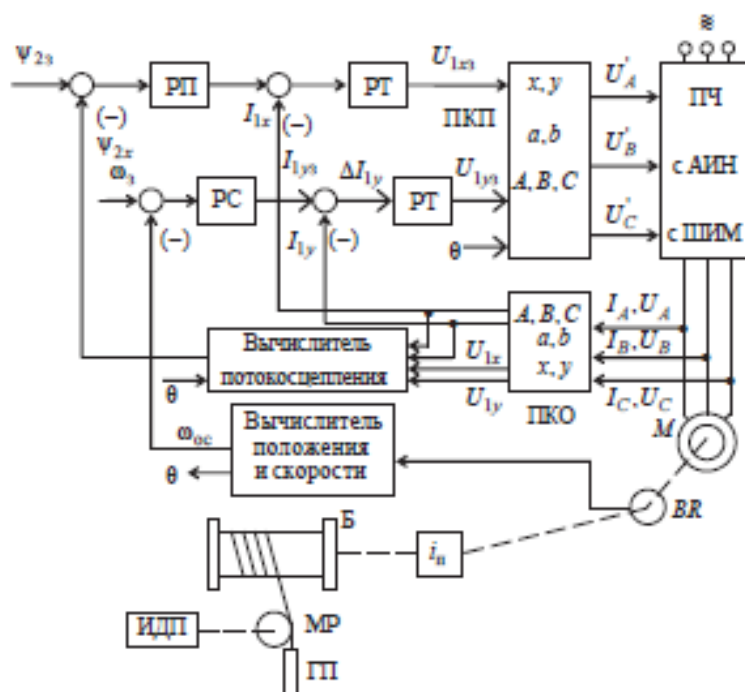


Рисунок 2.3 –Функциональная схема асинхронного электропривода каротажного подъемника с векторным регулированием скорости

Мощность асинхронного электродвигателя кабельного барабана будет равна при максимальном моменте на его валу и максимальной скорости

$$P = M_c \cdot \omega_{\text{дmax}}; P = 150 \cdot 312 = 46\,800 \text{ Вт.}$$

Выбираем двигатель 4А225М2У3 $P = 55 \text{ кВт}$, $\omega_0 = 314 \text{ с}^{-1}$.

2.2 Выбор преобразователя частоты

Для управления двигателем выбираем преобразователь частоты типа ПЧВ фирмы ОВЕН. В отличие от зарубежных аналогичных преобразователей (Siemens, KEB, Schneider Electric, OMPON и др.) он отличается меньшей стоимостью при монтаже, наладке и эксплуатации, а также стоимостью обучения обслуживающего персонала. Система управления обеспечивает как векторный, так и скалярный способы управления при высоких энергетических показателях электропривода во всем заявленном диапазоне регулирования скорости.

Преобразователи и комплектные электроприводы серии ЭПВ представляют собой новое поколение многофункциональных «интеллектуальных» устройств управления низковольтными (до 440 В) асинхронными и синхронными двигателями мощностью от 1 до 400 кВт, предназначенных для регулируемого привода механизмов и технологических процессов с самыми различными требованиями к параметрам регулирования и условиям эксплуатации: от насосов и вентиляторов до высокоточных станков и следящих систем.

Серия ЭПВ включает в себя следующие исполнения [11-13, 19]:

- бездатчиковый асинхронный электропривод мощностью 3..110 кВт, предназначенный для механизмов с диапазоном регулирования скорости до 50:1, не предъявляющих повышенных требований к быстродействию и точности регулирования скорости (насосы, вентиляторы, подъемно-транспортные средства и другие общепромышленные механизмы);

- преобразователи частоты мощностью 1..55 кВт с адаптивно-векторным управлением для высокоэффективных широкодиапазонных асинхронных и синхронных электроприводов, предназначенных для механизмов с повышенными требованиями к статическим и динамическим характеристикам (приводы главного движения и подачи металлорежущих станков с диапазоном регулирования скорости от 1 000 до 100 000 и полосой пропускания контура скорости до 100 Гц и более);

- векторный асинхронный и синхронный электропривод без датчика скорости на валу двигателя, обеспечивающий высокие динамические

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

характеристики в диапазоне регулирования 100:1, предназначенный для механизмов, предъявляющих повышенные требования к динамике, у которых вследствие технологических особенностей установка датчика навал двигателя не предусматривается (экструдеры, дробилки и другие механизмы химической и горнорудной промышленности, тяговые электроприводы транспортных средств);

- рекуперативный выпрямитель мощностью 15..55 кВт с векторной системой управления, предназначенный для применения в преобразователях со звеном постоянного напряжения, реализующих функцию свободного двустороннего обмена энергией между питающей сетью и нагрузкой с высокими энергетическими характеристиками и показателями электромагнитной совместимости. Характеризуется синусоидальным сетевым током и регулируемым коэффициентом мощности, который может устанавливаться равным единице, а также «опережающим» или «отстающим». Область применения – электропривод механизмов, значительное время работающих в генераторных режимах (подъемно-транспортные механизмы, станки, работающие с часто повторяющимися циклами разгон /торможение, механизмы с большими моментами инерции).

Преобразователь частоты выбирается по номинальному току и напряжению. В соответствии с рекомендациями ОВЕН [11, 19] выбираем преобразователь ЭТППТ-160-380-1АР-УХЛ4, типоразмер 125 с техническими данными:

- номинальная выходная мощность, кВА 82;
- типовая мощность двигателя, кВт 55;
- напряжение питания, В 380 +10/-15 %;
- частота напряжения питания, Гц 48..63;
- выходное напряжение, В 0...400;
- входное напряжение, В 380...400;
- выходная частота, Гц 0...400;
- частота модуляции, Гц 2 500... 10 000;
- номинальный выходной ток $I_{ном}$ (действ.), А 125;

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- максимальный выходной ток $I_{\max}$ (действ.), А 200;
- ток срабатывания защиты $I_{\text{МТЗ}}$ (абс. зн.) А 200;
- максимальный ток торможения А 90 ;
- мин. сопротивление балласт. резистора Ом 6,8;
- мощность потерь в номинальном режиме, Вт 1 080;
- максимальная температура радиатора, °С+85;
- рабочий диапазон температур окружающей среды °С -10...+45.

2.3 Определение параметров силовой части системы ПЧ-АД

Определим параметры асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А225М4УЗІР44, приводящего в движение кабельный барабан с моментом статической нагрузки $M_c = 150 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и моментом инерции $J_{\text{PM}} = 1,45 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и составим структурную схему силовой части.

Таблица 2.1 – Технические данные двигателя 4А225М4УЗ

Наименование	Размерность	Значение
Номинальная мощность, $P_{\text{ном}}$	кВт	55
Номинальное напряжение сети, $U_{1л}$	В	380
Номинальная частота питающей сети, f_c	Гц	50
Синхронная частота вращения, n_0	об/мин	3 000
Номинальное скольжение, $S_{\text{ном}}$	%	1,8
Скольжение критическое, $S_{\text{кр}}$	%	10
Отношение $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$	-	2,0
Отношение $M_{\text{мин}}/M_{\text{ном}}$	-	1,6
Отношение $M_{\text{кр}}/M_{\text{ном}}$	-	2,4
Отношение $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	-	6,0
Момент инерции, $J_{\text{дв}}$	кг*м ²	0,74
КПД, $\eta_{\text{ном}}$	%	87
Коэффициент мощности, $\cos\varphi_{\text{ном}}$	-	0,79

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения

Сопротивление	x_{μ}	В номинальном режиме				При коротком замыкании		
		статора		ротора				
		R_1'	X_1'	R_2''	X_2''	R''_{2n}	$R_{\kappa n}$	$X_{\kappa n}$
В отн. единицах	2	0,028	0,1	0,026	0,14	0,048	0,076	0,14
В Омах	3.84	0.054	0.192	0.05	0.27	0.093	0.146	0.37

Номинальный фазный ток статора определяется по формуле:

$$I_{1\phi, ном} = \frac{P_{2 ном}}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{55 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,82 \cdot 0,92} = 114,56 \text{ А},$$

(2.11)

Значение параметров схемы замещения в именованных единицах определяются по формулам:

$$x = X \cdot \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi, ном}} = X \cdot \frac{220}{114,56} = 1,92 \cdot X; \quad (2.12)$$

$$r = R \cdot \frac{U_{1\phi}}{I_{1\phi, ном}} = R \cdot \frac{220}{114,56} = 1,92 \cdot R,$$

(2.13)

где x, r – сопротивление, Ом

X, R – сопротивление, отн. ед.

Результаты расчета сопротивлений в именованных единицах представлены в таблице 2.2.

Функциональная схема электропривода ПЧВ представлена на рисунке 4 и состоит из следующих основных элементов

Силовой канал осуществляет двухступенчатое преобразование электрической энергии – выпрямление сетевого напряжения с помощью нерегулируемого выпрямителя и последующее инвертирование выпрямленного постоянного по величине напряжения посредством автономного инвертора напряжения (АИН).

Алгоритм ШИМ обеспечивает взаимосвязанное регулирование частоты и величины выходного напряжения по заданному закону, а также формирует синусоидальную форму кривой тока приводного электродвигателя.

Для реализации режима динамического (реостатного) торможения в звено постоянного тока электропривода включён тормозной транзисторный ключ (IGBT) и внешний блок тормозного резистора.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Датчики тока и напряжения в силовом канале электропривода служат для контроля, регулирования и измерения электрических параметров электропривода, в том числе, для защиты от токов перегрузки и короткого замыкания, недопустимых отклонений напряжения.

Многоканальный источник питания ИП преобразует сетевое переменное напряжение или выпрямленное напряжение звена постоянного тока в систему напряжений постоянного тока требуемых уровней и степени стабильности, гальванически связанных и не связанных между собой, для питания устройств управления.

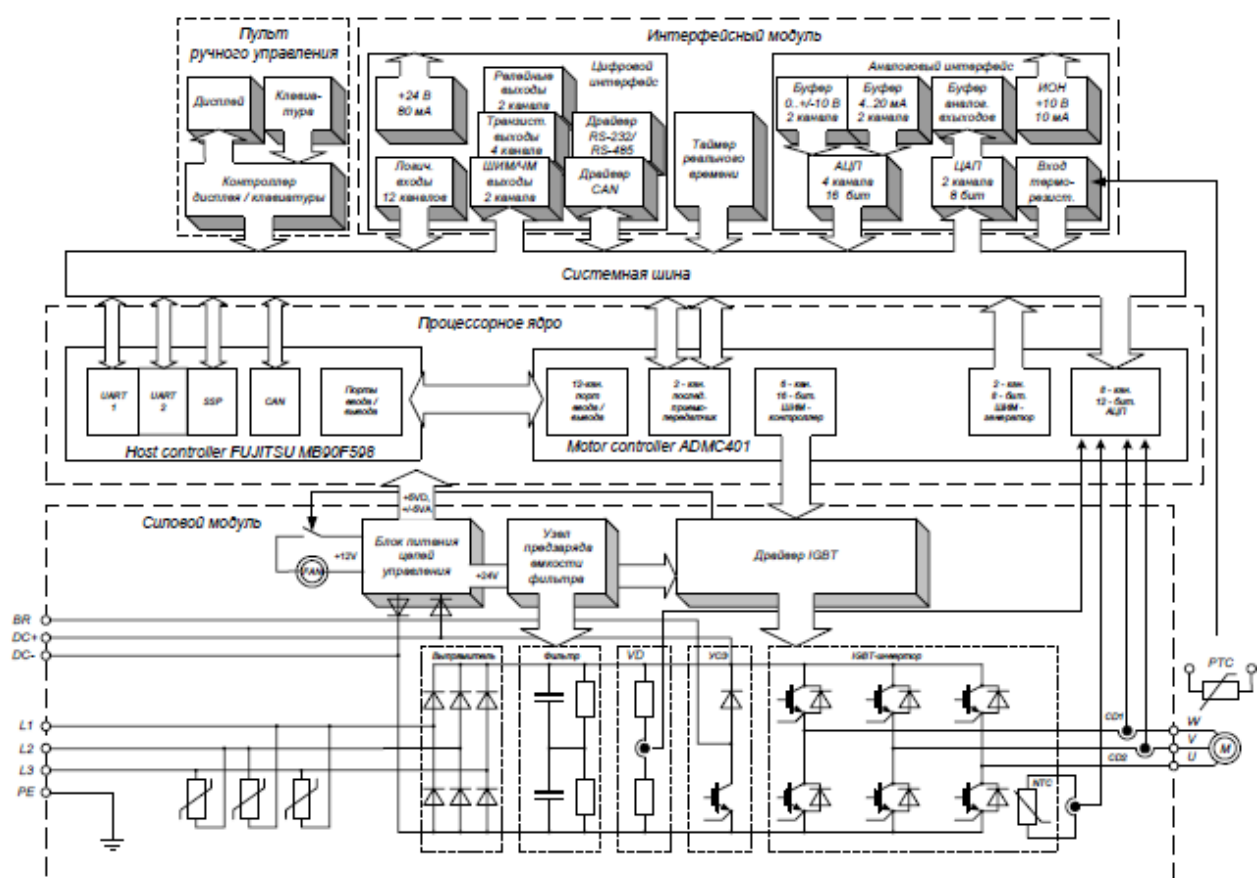


Рисунок 2.4 – Функциональная схема электропривода ПЧВ

Микропроцессорный контроллер осуществляет формирование режимов работы электропривода с заданными параметрами с помощью сигналов управления: сигналов ШИМ – управления транзисторами АИН, сигналов защиты и аварийного отключения электропривода, приема и передачи внешних управляющих, задающих и информационных сигналов.

2.3.1 Расчет и выбор элементов выходного фильтра

На выходе с автономного инвертора напряжения расположен фильтр. Наиболее распространенным видом выходного фильтра является LC – фильтр. Основным требованием, предъявляемым к фильтру, является обеспечение заданного коэффициента гармоник переменного напряжения в стационарном режиме.

Индуктивность фильтра определяется по формуле:

$$L_{\phi 2} \geq \frac{0,25 \cdot E_{\text{макс}}}{(0,4 \dots 0,6) \cdot f_{\kappa} \cdot I_{1\text{ном}}},$$

(2.14)

где $E_{\text{макс}}$ – максимальное напряжение источника постоянного напряжения, В.

В данном случае это напряжение в звене постоянного тока с учетом возможного превышения напряжения сети на 10 %.

$$E_{\text{макс}} = 1,1 \cdot U_d = 566,5 ,$$

(2.15)

где f_{κ} – несущая частота, так называемая частота коммутации ШИМ.

В электроприводе типа ПЧВ несущая частота меняется программно. В данном случае $f_{\kappa} = 8$ кГц. Предельная частота ограничена допустимой частотой переключения транзисторов, она составляет 10...20 кГц.

Численное значение индуктивности фильтра определится:

$$L_{\phi 2} \geq \frac{0,25 \cdot 566,5}{0,6 \cdot 4000 \cdot 114,56} = 0,00051 \text{ Гн.} \quad (2.16)$$

К установке принимаем реактор типа РТСТ – 20,5-2,02УЗ, параметры которого приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Техническая характеристика реактора типа РТСТ – 20,5-2,02УЗ

Наименование	Размерность	Значение
Номинальное линейное напряжение питающей сети, $U_{\text{сном}}$	В	380
Номинальный фазовый ток, $I_{1\text{ном}}$	А	145
Номинальная индуктивность фазы, L_p	мГн	2,02

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Активное сопротивление обмотки, R_p	мОм	26,5
---------------------------------------	-----	------

Емкость фильтра определяется по формуле:

$$C_{\phi 2} = \frac{T_{\kappa}^2}{64 \cdot k_z \cdot L_{\phi 2}},$$

(2.16)

где T_{κ} - период несущей частоты, с;

$$T_{\kappa} = \frac{1}{f_{\kappa}} = \frac{1}{4000} = 0,00025 \text{ с},$$

(2.17)

где k_z - коэффициент высших гармоник; $k_z = 0,05$;

Численное значение емкости фильтра:

$$C_{\phi 2} = \frac{0,00025^2}{64 \cdot 0,05 \cdot 2,02 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ мкФ}$$

К установке принимается конденсатор типа МБГВ с номинальной емкостью $C=60$ мкФ.

Дроссели включают в каждую фазу, последовательно с асинхронным двигателем, а конденсаторы соединяют в треугольник и включают параллельно двигателю. Соответственно конденсаторы существенно не влияют на общее сопротивление статорной цепи, поэтому сопротивлением фильтра при расчетах можно пренебречь.

2.3.2 Расчет и выбор элементов сглаживающего фильтра

Сглаживающие дроссели устанавливаются в звене постоянного тока низковольтных агрегатов и служат для снижения переменной составляющей тока через конденсаторы фильтра и уменьшения зоны прерывистых токов при работе электропривода. Конденсатор предназначен для замыкания реактивной составляющей тока статора.

Качество фильтра определяется коэффициентом сглаживания, который определяется:

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S_{LC} = \frac{q_{вх}}{q_{вых}}, \quad (2.18)$$

где $q_{вх}$ - коэффициент пульсации на входе фильтра;

$q_{вых}$ – коэффициент пульсации на выходе фильтра принимается в пределах 0,01...0,1; выберем $q_{вых}=0,01$.

Коэффициент пульсации на входе фильтра определяется по формуле:

$$q_{вх} = \frac{2}{n^2 - 1} \sqrt{1 + n^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}, \quad (2.19)$$

где n – число пульсаций выпрямителя; для трехфазной мостовой схемы $n = 6$;

α – угол управления вентилей выпрямителя; $\alpha = 0^\circ$, так как напряжение регулируется в АИН, а тиристорный преобразователь неуправляемый.

$$q_{вх} = \frac{2}{6^2 - 1} \sqrt{1 + 6^2 \cdot \operatorname{tg}^2 0} = 0,057.$$

Численное значение коэффициента сглаживания:

$$S_{LC} = \frac{0,057}{0,01} = 5,7$$

Емкость фильтра принимается из расчета 100 мкФ на 1 кВт мощности двигателя.

Расчетная мощность фильтра определится: мкФ

$$C_{\phi 1} = 100 \cdot P_{двном}; \quad C_{\phi 1} = 100 \cdot 55 = 5500.$$

К установке выбирается конденсатор типа МБГО – 1 – 400 В – 500 мкФ $\pm 10\%$.

Индуктивность фильтра определяется по формуле, Гн

$$L_{\phi 1} = \frac{5,7 + 1}{6^2 \cdot 314^2 \cdot 390 \cdot 10^{-6}} = 4,84 \cdot 10^{-3}.$$

К установке принимает реактор типа ФРОС – 250/0,5УЗ, параметры которого представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Параметры реактора типа ФРОС – 250/0,5УЗ

Наименование	Размерность	Значение
Номинальный постоянный ток, $I_{1ном}$	А	320
Номинальная индуктивность фазы, L_p	мГн	4,2

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.3.3 Разработка структурной схемы силовой части

Силовая часть электропривода состоит из преобразователя частоты и электродвигателя. Структурная схема силовой части представлена на рисунке 2.

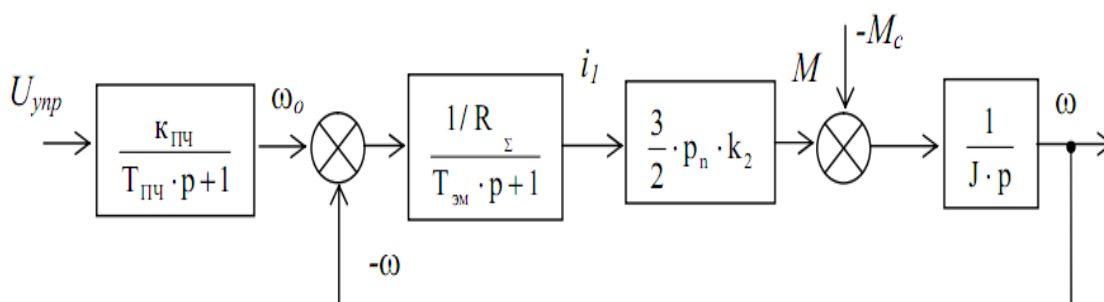


Рисунок 2.5 – Структурная схема силовой части электропривода

Динамические свойства преобразователя частоты совместно с блоками измерения и преобразования координат могут быть упрощенно учтены апериодическим звеном с передаточной функцией [1-3, 13].

$$W(p)_{\text{ПП}} = \frac{K_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1},$$

(2.20)

где $T_{\text{ПЧ}}$ - эквивалентная постоянная времени преобразователя, с;

$K_{\text{ПЧ}}$ – эквивалентный передаточный коэффициент преобразователя

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{U_{d\text{макс}}}{U_{\text{упр.макс}}},$$

(2.21)

где $U_{d\text{макс}}$ - номинальное фазное напряжение на выходе преобразователя, В;

$U_{\text{упр.макс}} = 10 \text{ В}$ - максимальное напряжение системы управления.

Численное значение коэффициента передачи преобразователя частоты равно:

$$K_{пч} = \frac{220}{10} = 22.$$

Постоянная времени $T_{пч}$ складывается из времени задержки включения ШИМ T_{κ} и времени, затрачиваемого процессором на преобразование и вычисление сигналов ($T_{np} = 1 \text{ мс}$).

Время задержки ШИМ определится как [7]:

$$T_{\kappa} = \frac{1}{f_{\kappa}} = \frac{1}{8000} = 0,000125 \approx 0,0001 \text{ с}.$$

Численное значение постоянной времени преобразователя:

$$T_{пч} = T_{np} + T_{\kappa} = 0,001 + 0,0001 \approx 0,0011 \text{ с}.$$

Электродвигатель представляется передаточными функциями электромагнитной и механической частей, представленных апериодическим и интегрирующим звеньями, соединенными последовательно.

Электромагнитная часть представляет из себя передаточную функцию от напряжения статора к току статора [13]:

$$W(p)_{эм} = \frac{1/R_{\Sigma}}{T_{эм} \cdot p + 1},$$

(2.22)

где R_{Σ} - суммарное сопротивление двигателя определяется по формуле:

$$R_{\Sigma} = R_{\phi 2} + R_1 + k_2^2 \cdot R_2',$$

(2.23)

где $R_{\phi 2}$ - активное сопротивление выходного фильтра на выходе АИН, Ом;

R_1 - активное сопротивление обмотки статора, Ом;

R_2' - приведенное активное сопротивление обмотки ротора, Ом;

k_2 - коэффициент электромагнитной связи ротора.

Взаимная индуктивность асинхронного двигателя определится по формуле, Гн:

$$L_{\mu} = \frac{x_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}; \quad L_{\mu} = \frac{59,28}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,188 \text{ Гн}.$$

Индуктивность рассеяния статора, Гн:

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}; \quad L_{1\sigma} = \frac{1,95}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,062 \text{ Гн.}$$

Полная индуктивность фазы статора, Гн:

$$L_1 = L_\mu + L_{1\sigma} = 0,188 + 0,0062 = 0,1942.$$

Индуктивность рассеяния ротора Гн:

$$L_{2\sigma}' = \frac{x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1ном}}; \quad L_{2\sigma}' = \frac{3,46}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,011 \text{ Гн.}$$

Полная индуктивность фазы ротора Гн:

$$L_2 = L_\mu + L_{2\sigma}' = 0,188 + 0,0011 = 0,1891 \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния асинхронного двигателя Гн:

$$L_\Sigma = L_2' - \frac{L_\mu^2}{L_1}; \quad L_\Sigma = 0,1891 - \frac{0,188^2}{0,1942} = 0,0071 \text{ Гн}$$

или по приближенной формуле:

$$L_\Sigma \approx L_{1\sigma} + L_{2\sigma}' \approx 0,062 + 0,0011 \approx 0,063 \text{ Гн.}$$

В дальнейших расчетах принимаем $L_\Sigma = 0,0063 \text{ Гн.}$

Коэффициент электромагнитной связи ротора определяется по формуле [13]:

$$k_2 = \frac{L_\mu}{L_2}; \quad k_2 = \frac{0,188}{0,1891} = 0,994.$$

Численное значение суммарного сопротивления двигателя будет равна, Ом

$$R_\Sigma = 0,265 + 1,64 + 0,994^2 \cdot 1,31 = 3,199 \text{ Ом.}$$

Электромагнитная постоянная времени асинхронного двигателя определяется по формуле, с

$$T_{эм} = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{0,033}{3,2} = 0,01 \text{ с.}$$

Электромагнитный момент двигателя формируется на основании уравнения [1-3, 13], кгм

$$M(p) = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot k_2 \cdot i_1(p); \quad M(p) = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,994 \cdot i_1(p) = 2,982 \cdot i_1(p),$$

где p_n - число пар полюсов обмотки статора, $p_n = 2$.

Механическая часть асинхронного двигателя представляется интегрирующим звеном с передаточной функцией:

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$W(p)_{\text{мех}} = \frac{1}{J \cdot p}; \quad W(p)_{\text{мех}} = \frac{1}{1,45 \cdot p}$$

Структурная схема силовой части системы ПЧ – АД смоделирована в программе Simulink. Вид модели представлен на рисунках 2.5 и 2.6.

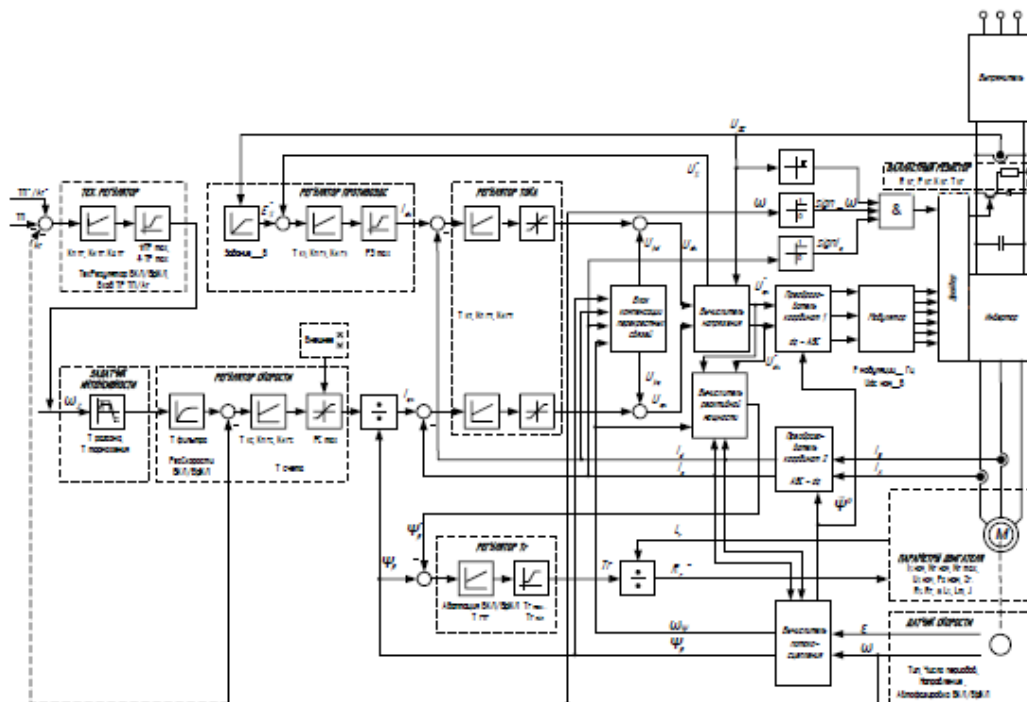


Рисунок 2.5 - Структурная схема системы управления приводом лебедки

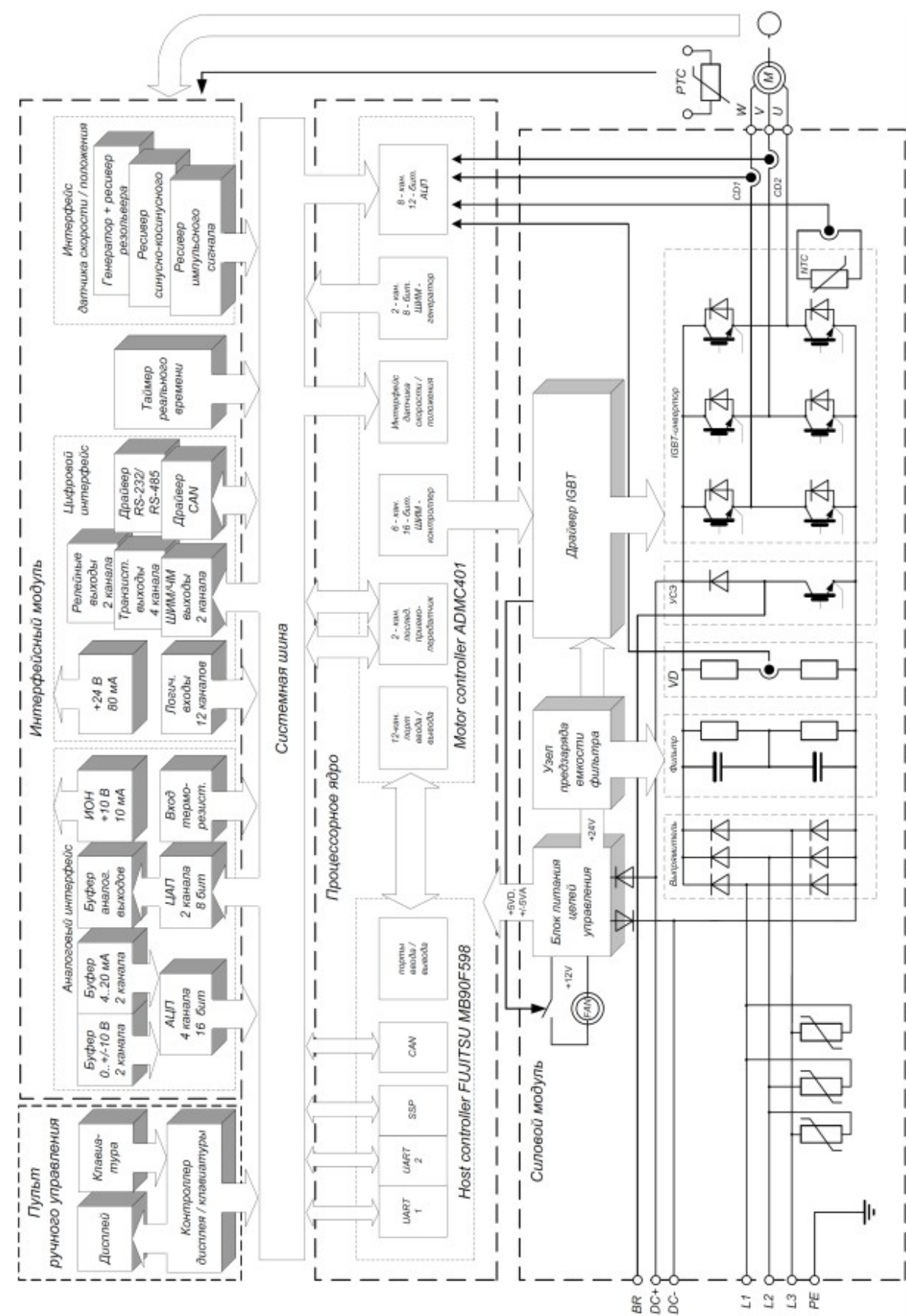


Рисунок 2.6 - Структурная схема силовой части системы ПЧ – АД смоделированная в программе Simulink

2.4 Определение структуры, типа и параметров регуляторов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

электропривода

Сведения о системах подчиненного управления электроприводами.

На современных отечественных буровых установках с индивидуальным электроприводом основных механизмов широкое распространение получили системы подчиненного управления, которые включают последовательное (каскадное) соединение контуров управления. При этом число каскадов управления равно числу управляемых величин (координат) электропривода, каждая из которых имеет собственный регулятор [2-4, 15].

В системах подчиненного управления электроприводом выходной сигнал каждого предыдущего регулятора является задающим сигналом для последующего регулятора. Системы подчиненного управления электроприводами по сравнению с системами, имеющими общий суммирующий усилитель, на входе которого суммируются задающий сигнал и сигналы обратных связей по скорости, напряжению, току и т. д., обладают рядом преимуществ.

Отметим некоторые из них:

- возможность построения самых разнообразных схем управления по агрегатному принципу, т. е. на основе небольшого числа стандартных элементов (ячеек, блоков и т. д.);
- простота осуществления связи электропривода с бесконтактными логическими и вычислительными устройствами для управления сложными технологическими процессами;
- малая мощность управления;
- применение комплектных высоконадежных элементов, выпускаемых на основе современных технологий;
- возможность реализации оптимальных законов управления каждой управляемой величины по отдельности и электроприводом в целом;
- простота схем, обеспечивающих ограничения управляемых величин (тока, скорости и др.) на заданном уровне;
- значительное снижение стоимости и сокращение сроков проектирования, монтажа и ввода в эксплуатацию электрооборудования и др.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В системах подчиненного управления задача регулирования координат электропривода возлагается на систему управления, использующую средства вычислительной техники и последние достижения электроники.

Возможность сопряжения отдельных модулей в системе обеспечивает-ся тем, что информация передается унифицированными сигналами, ограни-ченными по уровню напряжением ± 10 В. С целью уменьшения числа разъ-емов и повышения надежности систем управления в настоящее время приме-няются микропроцессорные устройства, реализующие сложные функции управления электроприводом. Например, такое устройство обычно содержит регулятор тока, регулятор скорости с узлом ограничения, узел выделения сигнала ЭДС двигателя, датчик интенсивности разгона двигателя, систему управления силовым преобразователем и др.

Важной особенностью систем подчиненного управления электропри-водами является возможность простыми средствами обеспечить оптимальное протекание процессов в контурах регулирования. Наибольшее распростране-ние на практике получила настройка параметров регуляторов по техническо-му или симметричному оптимумам.

2.5 Синтез и анализ системы векторного управления скоростью с ориентацией по потоку сцеплению ротора

Структурная схема САР при векторном управлении.

На основании функциональной схемы приведенной на рисунке 2.7 вы-полним разработку структурной схемы регулирования скорости, которая представлена на рисунке 2.8 [13-17] и определим передаточные функции ре-гуляторов в общем виде.

В состав структурной схемой системы регулирования входят следую-щие основные звенья с передаточными функциями:

- $W_{\text{рп}}$ – регулятор потока;
- $W_{\text{рт}}$ – регулятор тока;
- $W_{\text{рс}}$ – регулятор скорости.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} p + 1}$ – передаточная функция преобразователя частоты;

$\frac{1}{\frac{R_{1\Delta}}{T_{1\Delta} p + 1}}$ – передаточная функция двигателя, характеризующая статор;

$\frac{k_2 \cdot L_2}{T_2 p + 1}$ – передаточная функция двигателя, характеризующая ротор;

$\frac{1}{Jp}$ – передаточная функция двигателя, характеризующая нагрузку на

валу двигателя;

- $K_{оп}$ – коэффициент обратной связи по потоку;

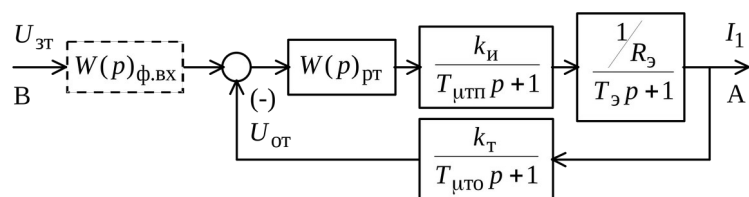
- $K_{от}$ – коэффициент обратной связи по току;

- $K_{ос}$ – коэффициент обратной связи по скорости.

Синтез регулятора тока.

На рисунке 2.7 представлена структурная схема контура тока с филь-

тром на входе [4, 13].



Запишем передаточную функцию разомкнутого контура стабилизации

$$W_{\text{раз.к.stab.I}}(p) = W_{PT}(p) \cdot \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_{1\vartheta}}{T_{1\vartheta} \cdot p + 1}, \quad (2.24)$$
$$R_{1\Theta} = R_s + k_r^2 \cdot R_r \quad (2.25)$$

Токa:

$$W_{\text{ж.раз.к.стаб. I}}(p) = \frac{1/k_{O.T.}}{a_T \cdot T_\mu \cdot p \cdot (T_\mu \cdot p + 1)}, \quad (2.26)$$

Вычислим:

$$W_{PT}(p) = \frac{1/k_{O.T.}}{2 \cdot T_{\Pi} \cdot p \cdot (T_{\Pi} \cdot p + 1)} \cdot \frac{T_{\Pi} \cdot p + 1}{k_{\Pi}} \cdot \frac{T_{1Э} \cdot p + 1}{1/R_{1Э}} = \frac{T_{1Э} \cdot p + 1}{k_{O.T.} \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot p \cdot k_{\Pi} \cdot 1/R_{1Э}}$$

Обозначим:

$$T_{II} = \frac{k_{O.T.} \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{\Pi}}{R_{1Э}}$$

Тогда передаточная функция регулятора тока примет вид:

$$W_{PT}(p) = \frac{T_{1Э} \cdot p + 1}{T_{II} \cdot p}$$

Синтез регулятора потока.

Структурная схема контура потокосцепления с фильтром на входе представлена на рисунке 2.9.

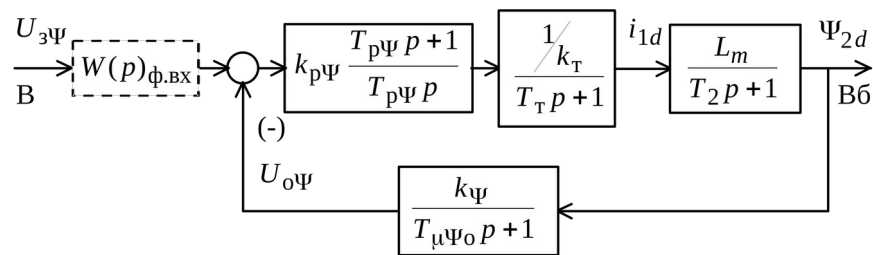


Рисунок 2.9 - Структурная схема контура потокосцепления

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура стабилизации потока в следующем виде:

$$W_{раз.к.стаб.П}(p) = W_{РП}(p) \cdot W_{зам.к.стаб.И}(p) \cdot \frac{k_r \cdot L_r}{T_2 \cdot p + 1} \quad (2.26)$$

Передаточная функция замкнутого контура регулирования потока равна:

$$W_{зам.к.стаб.И}(p) = \frac{W_{раз.к.стаб.И}(p)}{1 + W_{раз.к.стаб.И}(p) \cdot k_{O.T.}} = \frac{1/k_{O.T.}}{2 \cdot T_{\Pi} \cdot p + 1} \quad (2.27)$$

Желаемая передаточная функция разомкнутого контура стабилизации

потока имеет вид:

$$W_{\text{ж. раз. к. таб. П}}(p) = \frac{1/k_{O.П.}}{a_T \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)} \quad (2.28)$$

Принимаем $a_T = 2, a_{\Pi} = 2$ в соответствии с настройкой регулятора на МО, а некомпенсированную постоянную времени принимаем равной $T_{\mu c} = a_{\Pi} \cdot T_{\Pi}$.

Вычислим передаточную функцию регулятора:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{1/k_{O.П.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\Pi} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{\Pi} \cdot p + 1}{1/k_{O.Т.}} \cdot \frac{T_2 \cdot p + 1}{k_r \cdot L_r} = \frac{k_{O.Т.} \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_{\Pi} \cdot p \cdot k_{O.П.} \cdot L_m}$$

Обозначим:

$$T_{\text{ИП}} = \frac{k_{O.П.} \cdot 4 \cdot T_{\Pi} \cdot L_{12}}{k_{O.Т.}}$$

Тогда передаточная функция регулятора потока примет вид:

$$W_{\text{РП}}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{\text{ИП}} \cdot p} \quad (2.29)$$

Синтез регулятора скорости.

Структурная схема контура скорости с фильтром на входе представлена на рисунке 2.10.

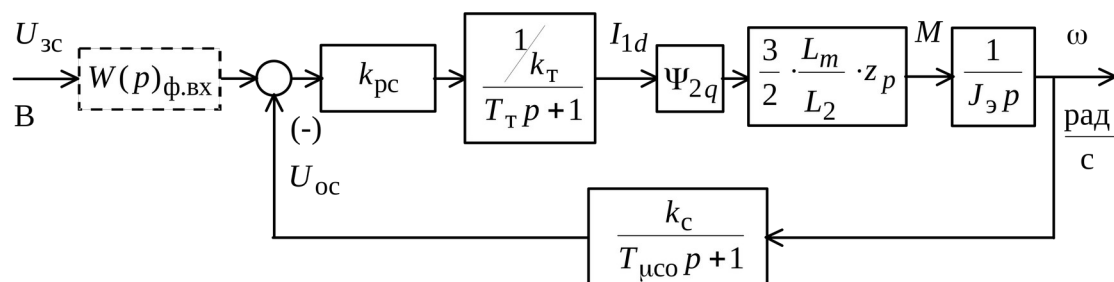


Рисунок 2.10 - Структурная схема контура скорости

Запишем передаточную функцию разомкнутого контура скорости в ви-

де:

$$W_{раз.к.стаб.С}(p) = \frac{1}{|\Psi_2| \cdot k_{O.П.}} \cdot W_{PC}(p) \cdot W_{зам.к.стаб.И}(p) \cdot |\Psi_2| \cdot \frac{3}{2} \cdot p_{П.} \cdot k_r \cdot \frac{1}{J \cdot p}$$

Передаточная функция замкнутого контура регулирования скорости

будет равна:

$$W_{зам.к.стаб.И}(p) = \frac{W_{раз.к.стаб.И}(p)}{1 + W_{раз.к.стаб.И}(p) \cdot k_{O.Т.}} = \frac{1/k_{O.Т.}}{2 \cdot T_{П.} \cdot p + 1}$$

Желаемая передаточная функция разомкнутого контура стабилизации

скорости примет вид:

$$W_{жс.раз.к.стаб.С}(p) = \frac{1/k_{O.С.}}{a_T \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)}$$

Принимаем $a_T = 2, a_C = 2$ в соответствии с настройкой регулятора на МО, а не скомпенсированную постоянную времени $T_{\mu c} = a_C \cdot T_{П.}$

Тогда передаточная функция регулятора скорости будет равна

$$\begin{aligned} W_{PC}(p) &= \frac{1/k_{O.С.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{П.} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{П.} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{П.} \cdot p + 1}{1/k_{O.Т.}} \cdot \frac{2 \cdot k_{O.П.} \cdot J \cdot p}{3 \cdot p_{П.} \cdot k_r} = \\ &= \frac{k_{O.П.} \cdot k_{O.Т.} \cdot J}{3 \cdot p_{П.} \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{П.} \cdot k_{O.С.}} = k_{PC} \end{aligned}$$

Расчет числовых значений параметров регуляторов.

Коэффициент обратной связи по потоку при $\psi_R = 0,68$ Вб [3, 11],

В/Вб:

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$k_{O.П.} = \frac{10}{\Psi_R}; \quad (2.30)$$

$$k_{O.П.} = \frac{10}{0,68} = 14,71 ;$$

Коэффициент обратной связи по току, В/А:

$$k_{O.Т.} = \frac{10}{I_{1уб}}$$

$$k_{O.Т.} = \frac{10}{2 \cdot 145,2} = 0,03$$

Коэффициент обратной связи по скорости, В*с/рад:

$$k_{O.С.} = \frac{10}{\omega_H}$$

$$k_{O.С.} = \frac{10}{314} = 0,03$$

Коэффициент передачи преобразователя по напряжению и постоянная времени:

$$k_{П} = \frac{U_m}{10};$$

$$k_{П} = \frac{220}{10} = 22$$

$$T_{П,} = 0,001 \text{ с.}$$

Постоянная времени контура тока, с:

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_{ИТ} = \frac{k_{О.Т.} \cdot 2 \cdot T_{П} \cdot k_{П}}{R_{1Э}};$$

$$T_{ИТ} = \frac{0,03 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 22}{3,199} = 0,0004.$$

Суммарное активное сопротивление фазы двигателя, Ом:

$$R_{1Э} = R_{\Sigma} = 0,265 + 1,64 + 0,994^2 \cdot 1,31 = 3,199 \text{ Ом}.$$

Передаточная функция регулятора тока:

$$W_{РТ}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{ИТ} \cdot p}, \quad (2.31)$$

$$W_{РТ}(p) = \frac{0,0525 \cdot p + 1}{0,0185 \cdot p}$$

Малая электромагнитная постоянная времени двигателя, с:

$$T_2 = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1Э}}; \quad (2.32)$$

$$T_2 = 0,018 \cdot \frac{0,0882}{3,1} = 0,0005.$$

Постоянная времени контура потока, с:

$$T_{ИП} = \frac{k_{О.П.} \cdot 4 \cdot T_{П} \cdot L_m}{k_{О.Т.}}; \quad (2.33)$$

$$T_{ИП} = \frac{14,71 \cdot 4 \cdot 0,001 \cdot 0,0875}{0,03} = 0,15.$$

Передаточная функция регулятора потока:

$$W_{РП}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{ИП} \cdot p}; \quad (2.34)$$

$$W_{РП}(p) = \frac{0,0005 \cdot p + 1}{0,15 \cdot p}.$$

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Постоянная времени роторной цепи, с:

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r}; \quad (2.35)$$

$$T_2 = \frac{0,0884}{0,0094} = 9,4$$

Коэффициент передачи регулятора скорости:

$$k_{PC} = \frac{k_{O.П.} \cdot k_{O.Т.} \cdot J_{\Sigma}}{3 \cdot p_{П} \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{П} \cdot k_{O.C.}}, \quad (2.36)$$

$$k_{PC} = \frac{14,71 \cdot 0,03 \cdot 1,45}{3 \cdot 2 \cdot 0,973 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 0,03} = 1460.$$

2.6 Исследование электропривода на модели

Моделирование выполним с помощью программы структурного моделирования PSM32, разработанной на кафедре ЭПАПУ. Схема модели электропривода лифта с задатчиком интенсивности представлена на рис. и соответствует структурной схеме частотного электропривода с векторным управлением [5, 6, 10].

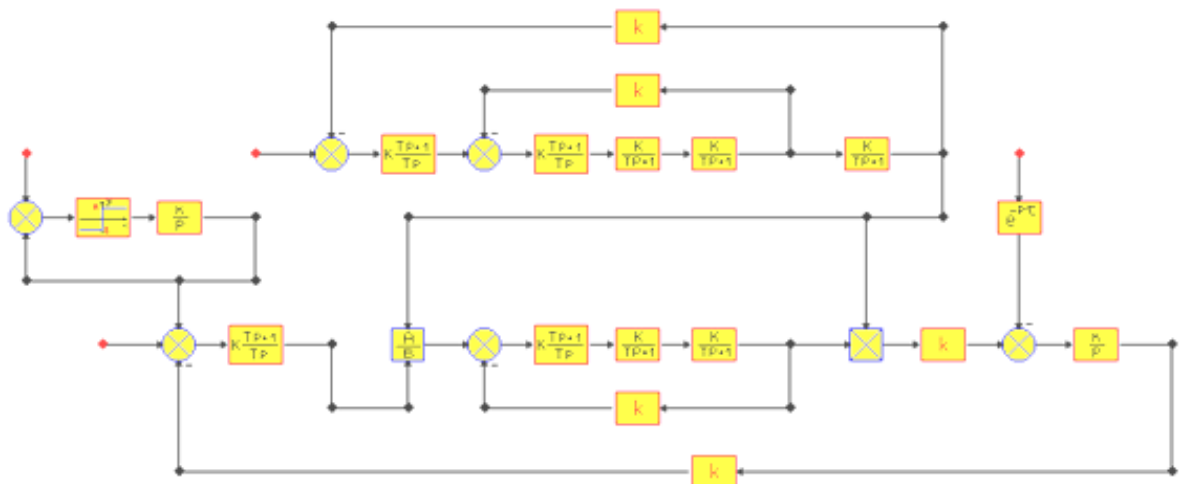


Рисунок 2.11 - Схема модели электропривода лебедки

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

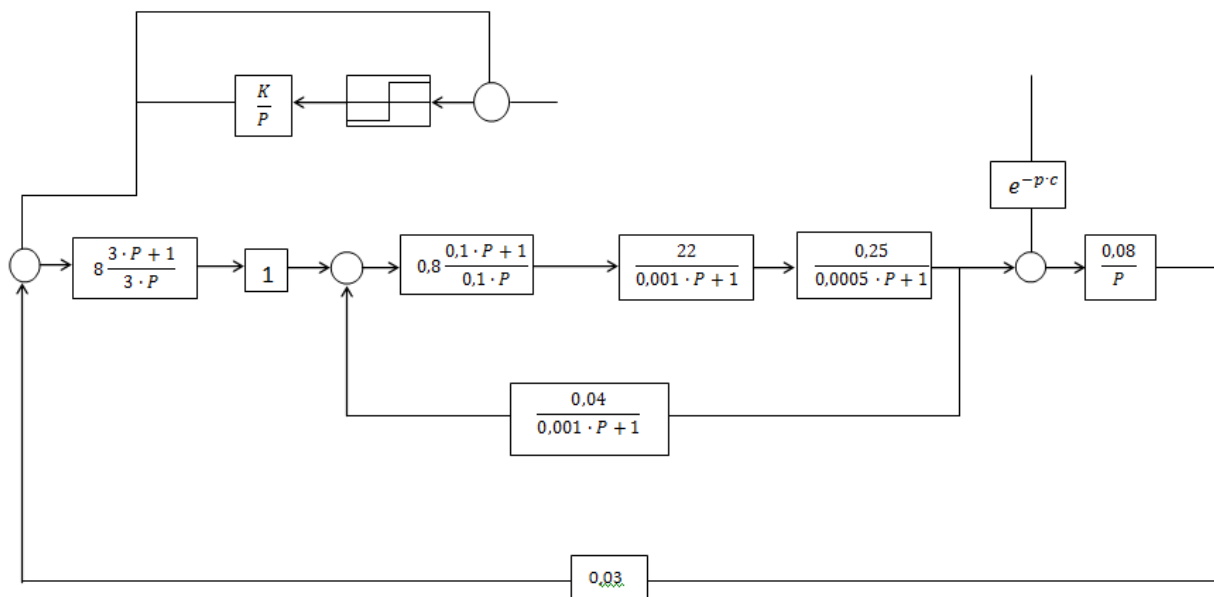


Рисунок 2.12 - Схема модели электропривода лебедки с цифровыми значениями

При разработке модели для АД и ПЧ приняты следующие допущения [15, 18]:

- не учитываются потери в стали;
- рассматривается трехфазный симметричный режим работы;
- не учитывается насыщение магнитной цепи АД;
- напряжения на выходе ПЧ принимаются синусоидальной формы;
- максимальные уровни входных сигналов управления и выходных напряжений управления (регуляторов) принимаются на уровне ± 10 В;
- расчет параметров модели проведен по паспортным данным двигателя и ПЧ;
- моделирование выполнено в среде PSM32.

Так как САР регулирования скорости является существенно нелинейной (из-за ограничения токов, моментов, нелинейных элементов), то уточненные параметры регуляторов будем определять путем моделирования САР.

При расчете регуляторов сделано достаточно много допущений, поэтому регуляторы требуют наладки на объекте, а в дипломном проектировании – на модели объекта. Моделирование замкнутой САР позволяет оценить

качество реакции системы на ступенчатые и другие воздействия как по управлению, так и по нагрузке. Если результат расчета регуляторов не дал качественных процессов, следует уточнить параметры регуляторов или настроить систему заново.

Наладка систем в соответствии с методом Зиглера-Никольса [19,16] производится следующим образом. Вначале в контур включают пропорциональный регулятор и, постепенно повышая его коэффициент усиления, наблюдают за характером переходного процесса, подавая на систему небольшие ступенчатые входные воздействия и не допуская ограничения регулятора. По мере увеличения усиления замкнутого контура время переходного процесса в нем сокращается, но возрастает перерегулирование. Как только процесс станет колебательным, следует прекратить увеличение усиления регулятора и даже слегка уменьшить его.

После этого в регулятор включается большая интегральная составляющая. Постепенно уменьшая постоянную времени интегрирования, вновь наблюдают за характером переходного процесса при небольших ступенчатых входных воздействиях. По мере снижения времени интегрирования возрастает перерегулирование, и как только оно достигнет допустимой величины, следует прекратить уменьшение постоянной интегрирования.

Затем включаются средства ограничения регулятора, и входные сигналы увеличивают по величине, проверяя реакцию системы с учетом присущих ей нелинейностей. На этом процесс настройки контура завершают и переходят к настройке следующего контура.

Ниже приведены графики переходных процессов тока и скорости лебедки (электродвигателя) при типовых режимах работы. На рисунках 2.13, 2.14 и 2.15 представлены графики переходных процессов для варианта привода с векторным управлением без датчика скорости. Вычисление в таком приводе сигнала, пропорционального скорости, по косвенным параметрам (частоте, току, напряжению статора) выполняется с некоторой задержкой времени, что приводит к замедленной реакции привода, особенно при работе в нижней части диапазона регулирования скорости.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

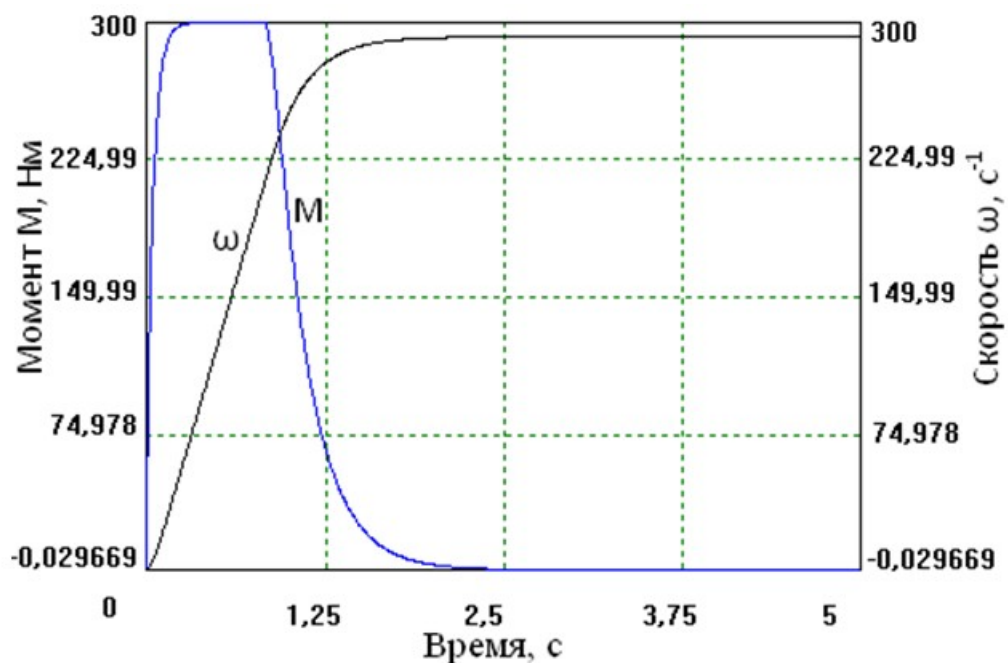


Рисунок 2.13 - График скорости и момента при ступенчатом задании скорости и ограничении момента до $M = 2M_H$

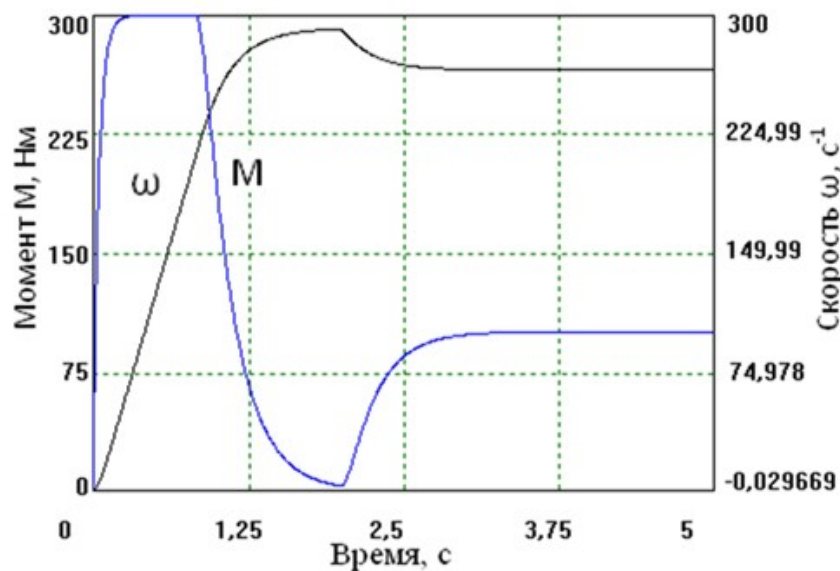


Рисунок 2.14 - График скорости и момента на при ступенчатом задании скорости и ограничении момента до $M = 2M_H$, нагрузка $M = 100$ Нм в момент времени 2 с

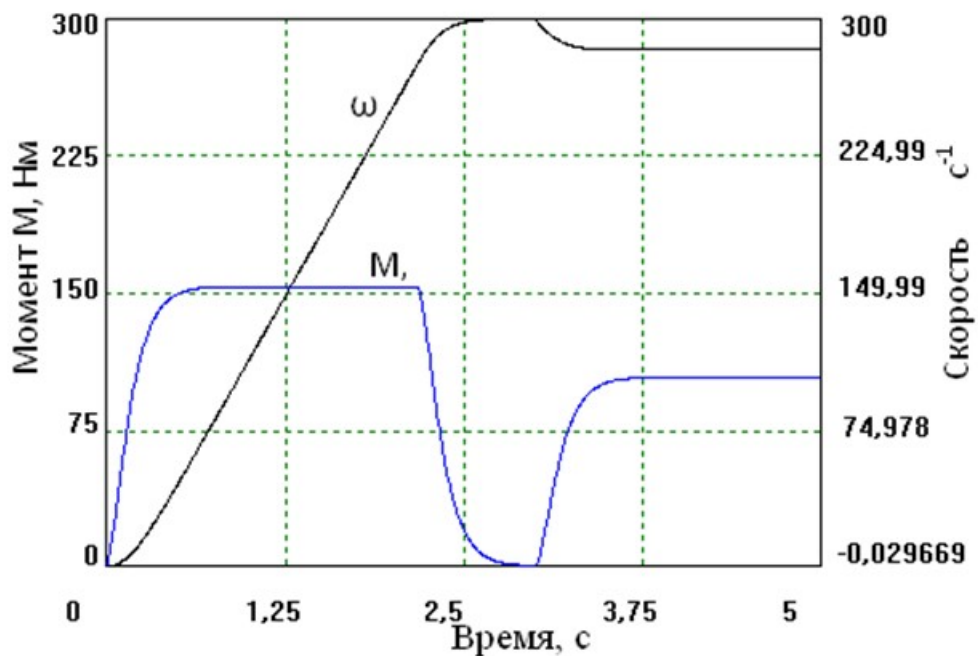


Рисунок 2.15 - Графики скорости и момента на Х.Х при ступенчатом задании скорости и нагрузки при ограничении момента до $M = 2M_H$ с задатчиком интенсивности

Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что при выбранных элементах, структуре и параметрах регуляторов система регулирования скорости лифта обеспечивает удовлетворительные показатели:

Время переходного процесса составляет не более 0,5 с. без перерегулирования, наброс нагрузки не вызывает значительного падения скорости, ускорение при разгоне/торможении не превышает предельного значения м\с². Увеличение нагрузки приводит к незначительному увеличению (не более 0,5 с.) времени переходного процесса.

При векторном управлении без датчика скорости сигнал, пропорциональный скорости (точнее – ЭДС двигателя) формируется с задержкой, вследствие чего привод оказывается разомкнутым по скорости.

Такая задержка в формировании сигнала управления делает систему существенно нелинейной, снижает устойчивость и качество регулирования скорости.

Выводы. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что при выбранных элементах, структуре и параметрах регуляторов разработанная

система регулирования скорости лебедки обеспечивает удовлетворительные показатели: время переходного процесса составляет не более 0,5 с. без пере-
регулирования, наброс нагрузки не вызывает значительного падения скоро-
сти, ускорение при разгоне/торможении не превышает предельного значения
 $0,2 \text{ м\c}^2$ и может регулироваться в широких пределах средствами преобразо-
вателя частоты.

Увеличение нагрузки приводит к незначительному увеличению (не бо-
лее 0,5 с.) времени переходного процесса.

Ограничение тока/момента двигателя лебедки осуществляется на за-
данном уровне.

2.7 Разработка схемы электрической подключения

На рисунке 2.16 показана схема подключения электропривода с ис-
пользованием минимального набора сигналов управления и заводской на-
стройкой входов и выходов. Различные варианты использования входных и
выходных цепей преобразователя частоты рассмотрены ниже.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

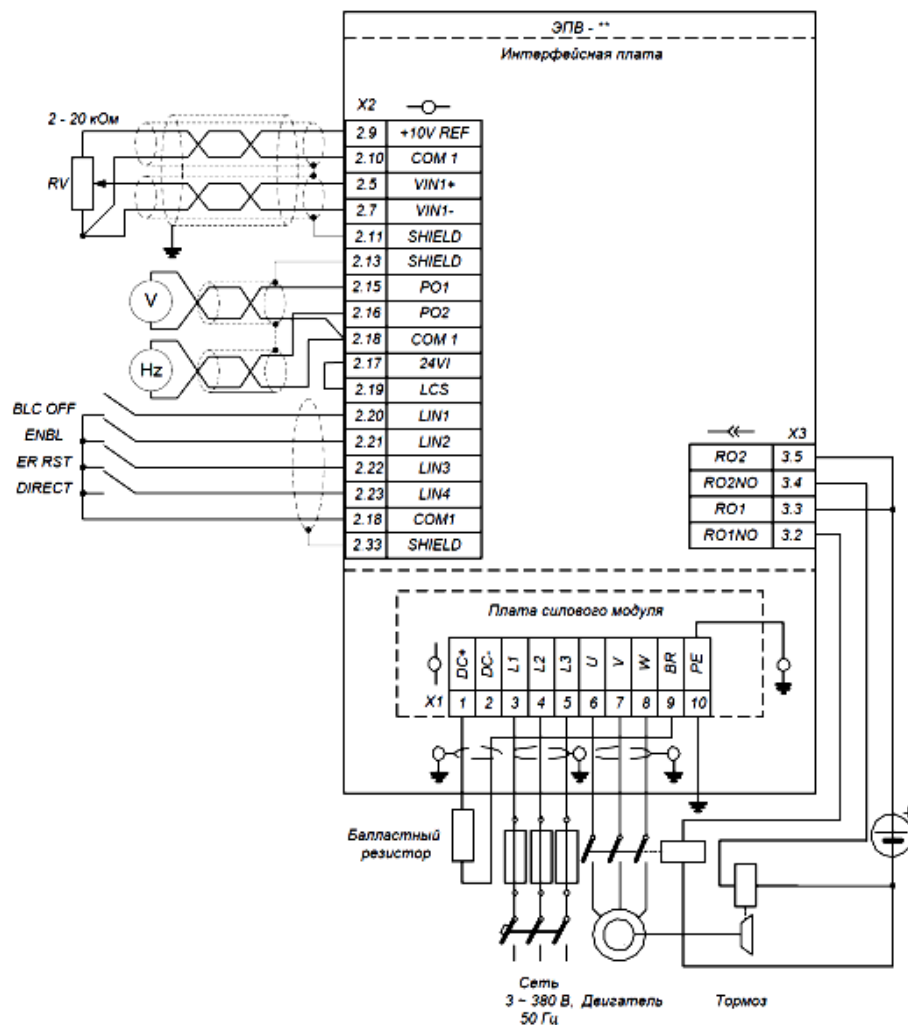


Рисунок 2.16 - Схема электрическая подключения

Перед началом электрического монтажа необходимо убедиться в пригодности двигателя для подключения к преобразователю частоты.

Необходимо учитывать, что выходное напряжение преобразователя на IGBT имеет форму импульсов с очень короткими фронтами (0,1...0,2 мкс) и амплитудой 1,35 напряжения питающей сети.

В зависимости от параметров кабеля напряжение на зажимах двигателя может удваиваться. Изоляция двигателя должна выдерживать повышенную нагрузку, при необходимости следует использовать фильтры dU/dt .

Подключение силовых цепей – питающей сети, двигателя и балластного резистора выполняют с помощью клеммника, расположенного на плате силового модуля (рисунок 2.17).

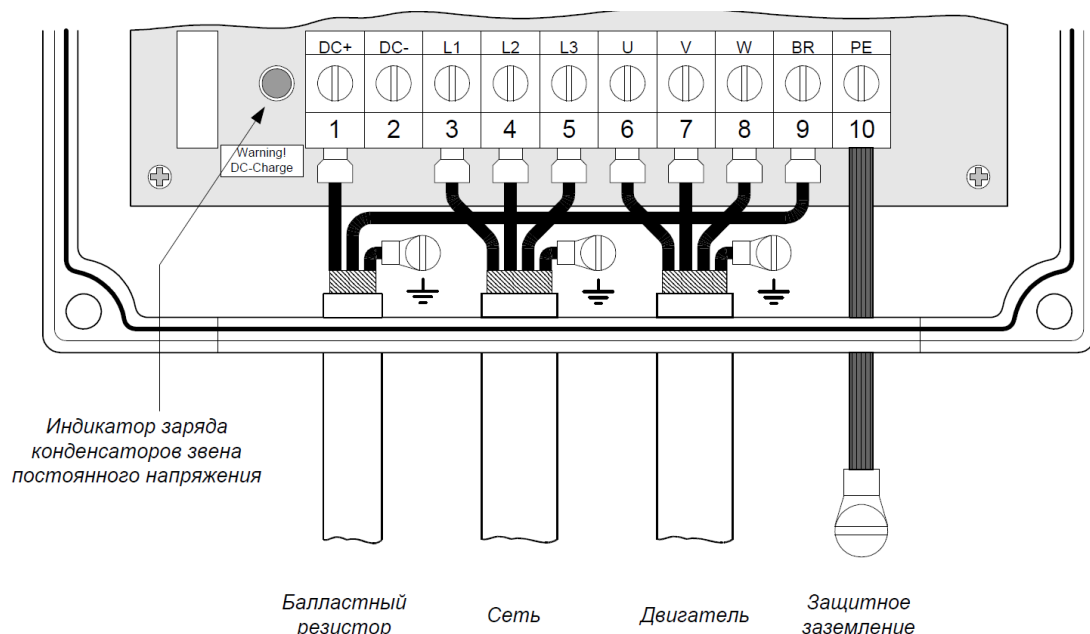


Рисунок 2.6 - Подключение силовых цепей

Подключение сети, двигателя и балластного резистора следует выполнять кабелями с изоляцией, соответствующей напряжению питающей сети и нагревостойкостью до 70 °С. Подключение к сети выполняется через защитный автоматический выключатель и предохранители. Выбор предохранителей, сечение проводников кабелей рекомендуется выполнять согласно таблице 2.5 в соответствии с требованиями DIN VDE 0100.430.1 и действующих ГОСТ.

Таблица 2.5 – Номиналы предохранителей

Номинальный ток двигателя I_M , А	Номинал предохранителя	Сечение проводов подключения сети S , мм ²	Сечения проводов подключения двигателя S , мм ²
		клеммы L1, L2, L3	клеммы U, V, W
1,5 – 4,5	10 А	2,5	2,5
5,5 – 7,5	16 А	2,5	2,5 – 4,0
9 – 15	25 А	6,0	10,0 – 16,0
22 – 30	50 А	10,0	

Прокладка кабелей. При прокладке кабелей следует соблюдать следующие правила:

Кабель подключения двигателя нужно размещать по возможности отдельно от других кабелей и избегать параллельной прокладки его с другими

кабелями. При параллельной прокладке соблюдать минимальные расстояния между кабелями:

- 0.3 м - при длине кабеля до 50 м;
- 1 м - при длине кабеля до 200 м.

Максимальная длина кабеля подключения двигателя без фильтров и компенсирующих устройств не должна превышать:

- 200 м для условий типа N;
- 100 м - для типа I;
- 50 м - для типа С.

Кабели управления по возможности должны прокладываться отдельно от силовых.

Силовые кабели должны пересекать кабели управления под углом 90° как показано на рисунке 2.18.

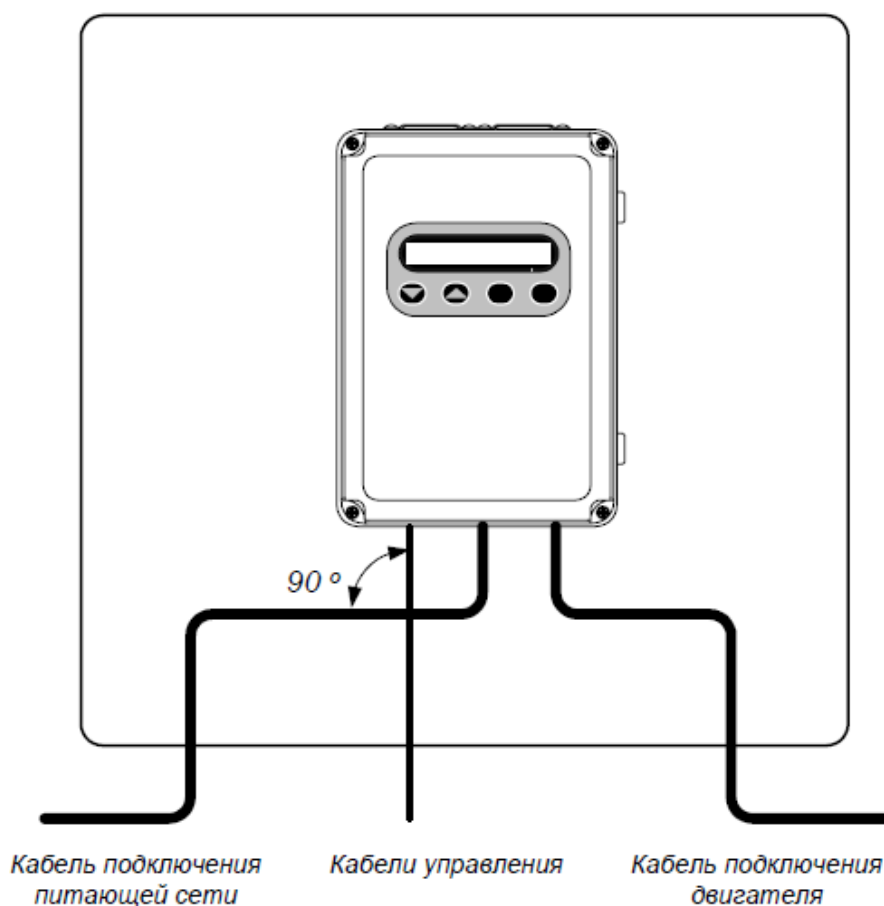


Рисунок 2.18 – Подключение кабелей к преобразователю

Релейные сигналы следует подключать витыми парами.

					4ЭП63а1.1.00.020000.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Запрещается подключать сигналы с напряжением до 24 В постоянного тока и 110/220 В переменного тока с помощью одного кабеля.

Низковольтные цифровые сигналы коммуникационных портов рекомендуется подключать кабелем с двойным экраном, но можно использовать и кабель с несколькими витыми парами в одном экране (рисунок 2.19, а).

Для подключения датчика скорости/положения рекомендуется кабель типа витая пара с двойным экраном (рисунок 2.19, б).

Каждый дифференциальный сигнал подключается отдельной экранированной парой.

Подключение выносного пульта ручного управления следует выполнять кабелем, оконцованным разъемами и проверенным в заводских условиях. Длина кабеля не должна превышать 1,5 м.

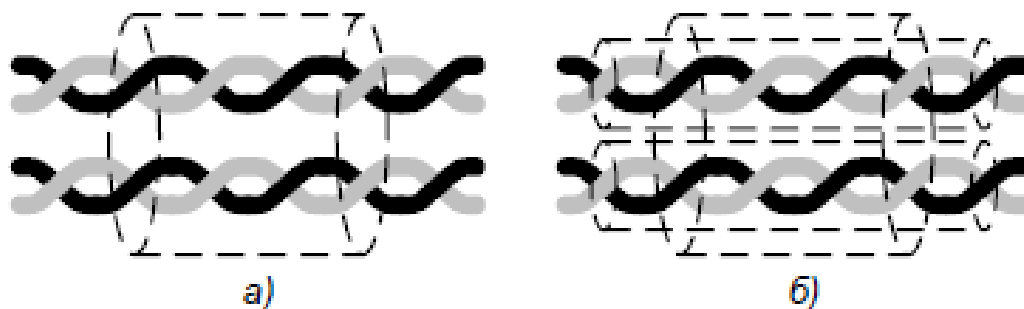


Рисунок 2.19 – Подключение сигнальных кабелей с одиночным (а) и двойным (б) экраном

Для кабелей, подключение которых выполняется через разъемы, помехозащищенность сигналов обеспечивается с помощью соединения экранов через отдельные выводы или корпуса разъемов с контуром интерфейсной платы, соединенным с заземленным шасси преобразователя.

Для максимальной помехозащищенности кабелей, подключаемых к клеммникам, следует обеспечить 360° заземление экрана как показано на рисунке 2.20.



Номинальный ток преобразователя	Сечение защитного проводника S, не менее мм ²
5 – 16 А	2,5
25 – 50 А	4
63 – 100 А	6
100 – 125 А	16

Заземление преобразователя, двигателя и подключенного к ним оборудования выполняется для обеспечения безопасности персонала и снижения уровня электромагнитных помех. Сечение защитного проводника рекомендуется выбирать по таблице 5.3 или согласно DIN VDE 0160.