

ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Полная схема подключения преобразователя частоты и асинхронного двигателя с учетом требований электромагнитной совместимости представлена на рис.1. [1]

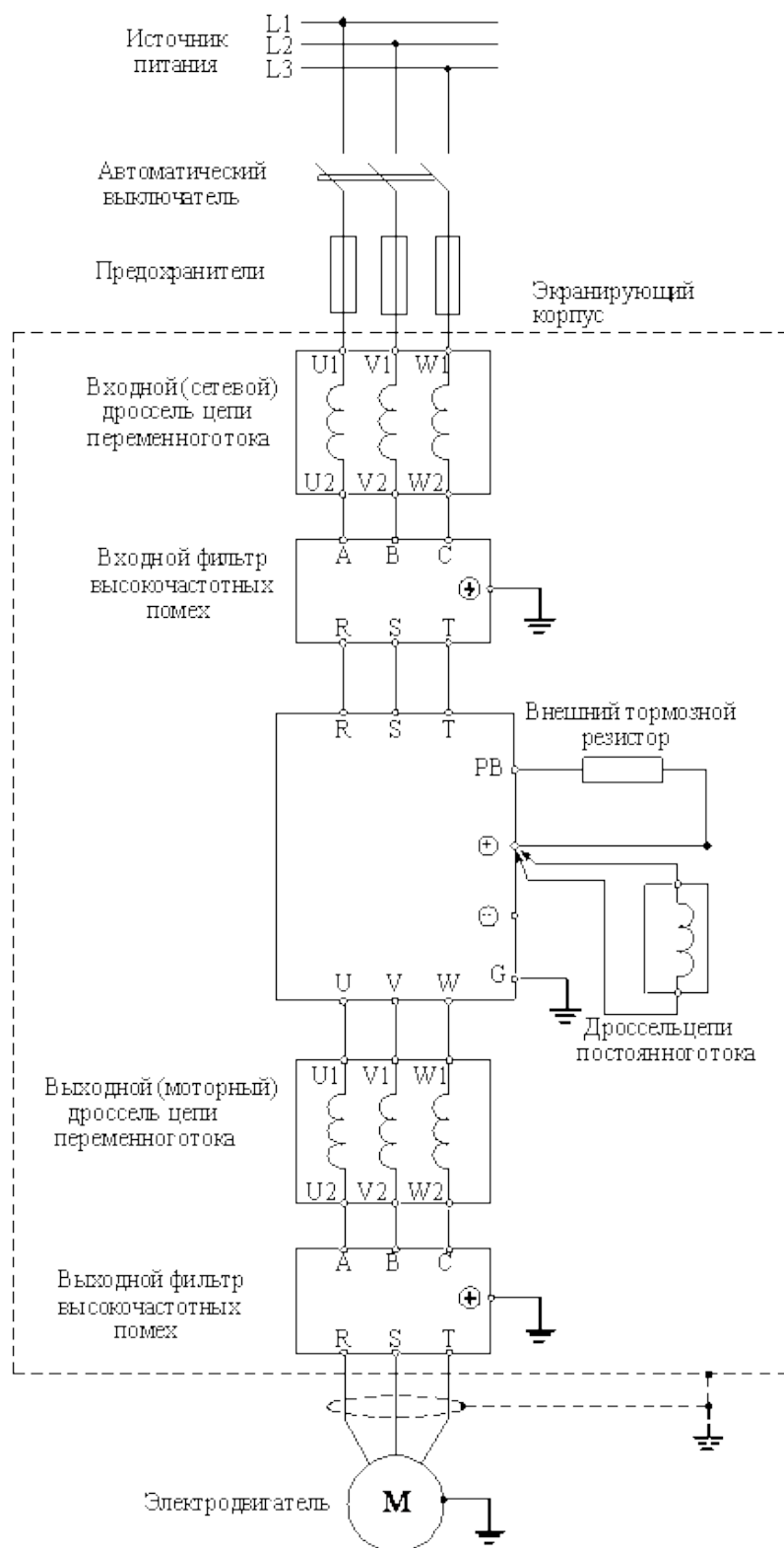


Рис.1. Схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода

Элементы со стороны питающей сети

Автоматический выключатель

Подключение источника силового питания к клеммам питания преобразователя всегда осуществляйте через автомат силовой защиты (рекомендуется с электромагнитным расцепителем):

- ток срабатывания автомата силовой защиты выбирайте в полтора-два раза больше потребляемого частотным преобразователем тока.
- быстрое действие автомата силовой защиты должно выбираться исходя из перегрузочной способности частотного преобразователя.
- если автомат силовой защиты предназначен для использования с несколькими частотными преобразователями или совместно с другим оборудованием, последовательность подключения должна быть такой, чтобы при появлении сигнала ошибки на выходе частотного преобразователя, напряжение питания отключалось.

В случае, когда питание силовой цепи должно отключаться согласно заданной последовательности работы, вместо автомата силовой защиты можно использовать *магнитный контактор*.

Если для принудительной остановки механизма магнитный контактор установлен со стороны питания, рекуперативное торможение невозможно и механизм останавливается по инерции.

Механизм может быть запущен и остановлен посредством включения и выключения контактора на стороне питания, однако частые переключения магнитного контактора могут привести к отказу частотного преобразователя.

В случае использования тормозного прерывателя и резистора, последовательность работы должна быть такая, чтобы отключение магнитного контактора осуществлялось контактами термореле блока.

Сетевые предохранители

Предохранители одновременно обеспечивают защиту подводящих кабельных линий и полупроводниковых элементов преобразователя.

Сетевой дроссель цепи переменного тока

Сетевой дроссель цепи переменного тока применяется для подавления гармоник (гармонических составляющих токов и напряжений) со стороны питающей сети, сводит к минимуму дополнительные тепловыделения, возникающие при работе преобразователя, и вероятность возникновения всевозможных сбоев в работе оборудования, вызываемых нестабильностью питающей сети. Рекомендуется устанавливать, если мощность питающей сети в десятки раз превышает мощность частотного преобразователя или при наличии в питающей сети помех от более мощных устройств. Использование

сетевого дросселя цепи переменного тока существенно влияет на форму потребляемого преобразователем тока и значительно приближает его к синусоидальной, существенно ослабляет броски напряжения в сети при включении или выключении крупных потребителей, продлевается срок службы конденсаторов промежуточного контура, надежность преобразователя увеличивается в 5 - 7 раз.

При использовании сетевого дросселя цепи переменного тока ограничивается скорость нарастания тока, если преобразователь по каким-либо причинам вышел из строя, при этом успевают сработать входной автомат отключения питания, и повреждения оказываются минимальными, и, как следствие, более дешевый ремонт.

Использование входного фильтра высокочастотных помех

Входной фильтр высокочастотных помех применяется для снижения уровня ВЧ-электромагнитных помех, излучаемых в сеть при работе частотного преобразователя. Рекомендуется использовать, если электропитание преобразователя частоты осуществляется от одного ввода совместно с другими устройствами, чувствительными к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.).

Элементы со стороны двигателя

Использование выходного дросселя цепи переменного тока

Моторный дроссель цепи переменного тока применяется для частичного подавления гармоник (гармонических составляющих токов) высших порядков со стороны двигателя (на выходе **частотного преобразователя**). Рекомендуется использовать для повышения коэффициента эффективности потребления мощности преобразователем на стороне питающей сети, снижения скорости нарастания аварийных токов, компенсации емкостных токов длинных кабелей, снижения импульсных перенапряжений на обмотках двигателя.

Использование выходного фильтра высокочастотных помех

Выходной фильтр высокочастотных помех применяется для ослабления уровня ВЧ-электромагнитных помех, генерируемых в выходной цепи работающего преобразователя частоты. Рекомендуется использовать, если в непосредственной близости с преобразователем частоты находятся другие устройства, чувствительные к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.), а также если длина кабеля, соединяющего выход **частотного преобразователя** и двигатель, превышает 20 м.

Могут использоваться фильтры ограничения напряжения ($\frac{dU}{dt}$ – фильтры) и синусоидальные фильтры.

Фильтры ограничения напряжения ограничивают пиковые значения импульсных перенапряжений и производную $\frac{dU}{dt}$ на клеммах двигателя.

Фильтры ограничения напряжения используются для двигателей, электрическая прочность изоляции которых недостаточна.

Синусоидальный фильтр позволяет обеспечить практически синусоидальную форму выходного напряжения и тока. Синусоидальный фильтр снижает выходное напряжение инвертора, ограничивает максимальную выходную частоту инвертора и снижает пики напряжения на клеммах двигателя. [1]

Выбор асинхронного двигателя

Тип асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором выбирается в соответствии с вариантом. Варианты приведены в задании на комплексный проект в Разделе 1.

Выбор преобразователя частоты и способа регулирования скорости

Способ управления скоростью двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ–АД) выбирается на основании рекомендаций, приведенных в таблице:

Способы управления в системе ПЧ–АД и их показатели

Способ управления	Диапазон регулирования скорости
Скалярное управление , закон управления $U_1/f_1 = \text{const}$: – разомкнутая система, в том числе с коррекцией вольтчастотной характеристики – замкнутая система с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора (<i>IR</i> –компенсация или компенсация нагрузки) – замкнутая система с обратной связью по току статора и компенсацией падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора и повышением жесткости статических характеристик (<i>IR</i> –компенсация и компенсация скольжения) – замкнутая система с обратной связью по скорости	менее 10
	10
	более 10
	до 120
Векторное управление: – без датчика скорости (с внутренней моделью) – с датчиком скорости	100-120 не менее 1000

Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы используют блочно-модульные принципы комплектования и реализуются как по структурам скалярного, так и векторного частотного управления. Выбор структуры реализации, способа управления и закона скалярного управления для частотно-регулируемого асинхронного электропривода определяется характером нагрузки, требованиями к статическим (в первую очередь к диапазону регулирования скорости) и динамическим характеристикам электропривода.

Выбор преобразователя частоты

Сложность выбора преобразователя частоты для совместной работы с электродвигателем заключается в том, что номинальные режимы работы электродвигателей ($S1 - S8$), основанные на постоянной времени нагрева двигателя, которая определяется десятками минут, не приемлемы для преобразователей, постоянная времени нагрева которых определяется десятками секунд.

Преобразователи частоты спроектированы для продолжительной работы с номинальным током инвертора $I_{и.н}$. Если номинальный ток протекает длительное время (более 60 с), то рабочая температура блока достигает максимально допустимого значения. Выше этого значения срабатывает защита ($I^2 \cdot t$), что не позволяет перегружать преобразователь по току даже кратковременно.

По этой причине преобразователи частоты в системах электропривода, имеющих кратковременные перегрузки двигателя, связанные с периодическими изменениями скорости или технологическими изменениями момента нагрузки, должны работать с эквивалентным за цикл работы током, не превышающим номинальный ток инвертора

$$I_{и.н} \geq I_{и.э},$$

где

$$I_{и.э} = \sqrt{\frac{I_{и.макс}^2 \cdot t_1 + I_{и.раб}^2 \cdot (T_{ц} - t_1)}{T_{ц}}};$$

$I_{и.макс}$ = $k_{и} \cdot I_{и.н}$ – максимальный ток (ток перегрузки) инвертора, А;

$k_{и}$ – коэффициент кратности максимального тока инвертора;

t_1 – допустимое время протекания максимального тока, с;

$I_{и.раб}$ – рабочий ток инвертора, А;

$T_{ц}$ – время цикла.

Рекомендации по предварительному выбору преобразователя частоты

Трехфазные асинхронные электродвигатели с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В работают с трехфазными преобразователями частоты с выходным напряжением 3×220 В при соединении обмоток двигателя в Δ и 3×380 В при соединении обмоток в Y .

При выборе преобразователя частоты для трехфазного асинхронного двигателя с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В и соединением обмоток по схеме Y следует руководствоваться приведенными ниже рекомендациям.

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть $380/220$ В, 50 Гц.

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

– 3 фазы;

– максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;

– максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{и.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)}, \text{ Гц};$$

– минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{и.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{эп.мин}}{\omega_0}, \text{ Гц}.$$

3. Преобразователь частоты выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{и.н}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{и.макс} = I_{и.н} \cdot k_{и}$, где $k_{и}$ – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

– в однозонном электроприводе

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{смакс}}{M_{дв.н}}, \quad I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{эп.макс}}{M_{дв.н}};$$

Принимая, что $M_{смакс} = M_{дв.н}$ получим, что $I_{и.н} \geq I_{1лн}$, где

$$I_{1фн} = I_{1лн} = \frac{P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}$$

– в двухзонном электроприводе дополнительно проверяется выполнение условий

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{смакс}(\omega_{эп.макс})}{M_{дв.н}} \cdot \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_{дв.н}},$$
$$I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{эп.макс}(\omega_{эп.макс})}{M_{дв.н}} \cdot \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_{дв.н}}.$$

Примечания:

1. Даже если двигатель работает при малой нагрузке, максимальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{и.макс} \geq I_{дв.н}.$$

2. При векторном управлении номинальный ток двигателя должен удовлетворять условию

$$I_{дв.н} \geq 0.125 \cdot I_{и.н}.$$

3. При скалярном управлении и любом законе U_1/f_1 нижней границы допуска для номинального тока двигателя нет. Однако при слишком малом номинальном токе это приведет к ухудшению качества работы: компенсация скольжения, IR -компенсация и $I^2 \cdot t$ будут вычисляться неправильно. [1]

Параметры преобразователя частоты

Параметры выбранного преобразователя частоты рекомендуется свести в таблицу.

Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{и}$, В	Выходная частота $f_{и}$, Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц			$I_{и.н}$, А	$I_{и.макс}$, А (60 с)	
	3×380						

Выбор автоматического выключателя

Для защиты преобразователя частоты применяют автоматические выключатели с время-токовой характеристикой «В» и быстродействующие плавкие предохранители.

Аппараты категории **В** обладают меньшей чувствительностью, чем относящиеся к типу А. Электромагнитный расцепитель в них срабатывает при превышении номинального тока на 200%, а время на срабатывание составляет 0,015 сек. Срабатывание биметаллической пластины в размыкателе с характеристикой **В** при аналогичном превышении номинала **АВ** занимает 4-5 сек.

Аппараты защиты решают две основные задачи: предотвращение разрушения, плавления и, что крайне опасно, возгорания изоляции подводящей и приборной электропроводки при сверхтоках, которые могут возникнуть при внутренних коротких замыканиях, а также, по возможности, ограничение токовых нагрузок во входных цепях полупроводниковых приборов преобразователя частоты. Такими входными цепями являются выпрямительные мосты.

Автоматические выключатели являются защитными аппаратами многократного действия и предназначены для защиты вентильных преобразователей от внешних коротких замыканий и перегрузок по току. Автоматические выключатели переменного тока устанавливаются перед преобразователем. Так же они обеспечивают разрыв цепи при ремонтных работах. Автоматический выключатель выбирается по условию:

$$I_{\text{авн}} \geq (1,5 \div 2,0) \cdot I_{\text{пчн}},$$

где $I_{\text{авн}}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{\text{пчн}}$ – номинальный выходной ток преобразователя частоты, А.

Выбираем трехполюсный автоматический выключатель фирм АВВ, TDM, IEC, Legrand, Schneider и др.

Выбор предохранителей

Для защиты силовых вентилей преобразователя частоты при внешних и внутренних коротких замыканиях широко применяются быстродействующие (порядок времени срабатывания - микросекунды) плавкие предохранители. Предохранители устанавливаются в цепи питания преобразователя частоты и выбираются по току, аналогично выбору автоматических выключателей.

Выбираем быстродействующие предохранители фирм АВВ, Siemens, TDM, Schneider, Legrand и др.

Выбор дросселей и фильтров

По номинальному выходному току, выбранного преобразователя частоты, выбираем сетевой и моторный дроссели, входной и выходной фильтры. Технические характеристики данного электрооборудования приведены в справочных материалах.

Выбор питающих кабелей

Кабели, которые используются для подключения к источнику питания частотного преобразователя, а также для подключения преобразователя частоты к асинхронному двигателю, должны соответствовать требованиям электромагнитной совместимости, номинальному току на выходе частотного преобразователя, температуре нагрева проводников. ГОСТ 24607-88 «Преобразователи частоты полупроводниковые. Общие технические требования», обозначает лишь допустимый уровень радиопомех, который возникает при работе частотных преобразователей, но этих стандартов недостаточно. Страны ЕС пользуются «Директивой по электромагнитной совместимости», согласно которой, электромеханическое устройство не

должно создавать помех работе другого оборудования, и должно быть устойчивым к другим помехам. По степени соответствия, директивой определены три уровня:

- **Уровень N** гласит о том, что изделие не соответствует требованиям касательно излучения помех, если только для радиопомех не применяется специальный фильтр. При наличие такого фильтра, электротехническое изделие соответствует требованиям использования в промышленной среде;

- **Уровень I.** Свидетельствует о том, что электротехническое изделие соответствует нормам излучения помех в промышленной среде;

- **Уровень C.** Изделия удовлетворяет требованиям излучения помех в промышленных средах, жилых помещений и административных зданий.

При работе преобразователя частоты создается высокий уровень импульсных помех в кабеле преобразователь частоты – электродвигатель. В зависимости от длины кабеля и условий прокладки будет определяться уровень помех на электронные устройства:

1. При длине кабеля до 2 м необходимость в экранировании обычно отсутствует.

2. В прочих случаях необходимость экранирования кабеля зависит от условий прокладки кабелей (силовых и сигнальных) и насыщенности предприятия (цеха) электронным оборудованием, работа которого может нарушаться помехами от преобразователя частоты.

3. Допускается прокладка обычного кабеля в заземленной металлической трубе или отдельном металлическом коробе без разрывов.

4. Экранированный кабель можно заменить бронированным.

Для увеличения предельной длины кабеля применяют дроссели на выходе преобразователя частоты для снижения импульсов напряжения на зажимах электродвигателя, что позволяет исключить пробой изоляции двигателя и повысить надежность частотно-регулируемого электропривода в целом.

Сечение и марка кабеля выбирается на основании условия:

$$I_{\text{доп}} \geq \sum I_{\text{ном.ЭО}},$$

где $\sum I_{\text{ном.ЭО}}$ - сумма номинальных токов преобразователя частоты и асинхронного двигателя.

По результатам расчета выбирается четырехжильный кабель. Возможно применение следующих марок кабелей:

- ВВГЭ – кабель силовой с ПВХ изоляцией и ПВХ оболочкой экранированный; [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgeng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgeng-ls/)

- КГ – кабель гибкий с резиновой изоляцией, для прокладки в трубе или коробе; <https://www.elec.ru/viewer?url=files/127/000001066/attfile/01.pdf>

- ВВГ – кабель силовой с ПВХ изоляцией и ПВХ оболочкой, для прокладки в трубе или коробе. <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/>

- TOPFLEX – кабель силовой экранированный медный предназначен для подключения электродвигателей к частотному преобразователю в сухих и влажных помещениях. Допускается его использование на улице при условии защиты от ультрафиолетового излучения. Жилы кабеля промаркированы по номерам, он является химически и маслостойким, экран представляет оплетку из медной проволоки. <http://en-el.ru/cables>

Список литературы

1. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов учебное пособие: Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин ; Томский политехнический университет . — 2-е изд., перераб. и доп. . — Томск . — 2014. — 648 с.: ил.

2. ГОСТ 24607-88 «Преобразователи частоты полупроводниковые. Общие технические требования»

3. https://www.owen.ru/uploads/rpr_pchv_002.pdf

4. <http://en-el.ru/cables>

5. [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgeng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgeng-ls/)

6. <https://www.elec.ru/viewer?url=files/127/000001066/attfile/01.pdf>

7. <http://kabel-vvg.ru/tehnicheskie-harakteristiki-kabelya-vvg/>