

Как правильно выбрать преобразователь частоты

Очень важно сделать правильный выбор преобразователя. От него будет зависеть эффективность и ресурс работы преобразователя частоты и всего электропривода в целом. Так если мощность преобразователя будет слишком завышена, он не сможет в должной мере обеспечить защиту двигателя. С другой стороны, если мощность преобразователя мала, он не сможет обеспечить высокودинамичный режим работы и из-за перегрузок может выйти из строя.

Правильная эксплуатация так же сильно влияет на срок службы преобразователя. При выборе преобразователя частоты надо руководствоваться не только мощностью подключаемого двигателя, а также диапазоном рабочих скоростей двигателя, диапазоном рабочих моментов вращения, характером нагрузки и циклограммой работы. В таблице перечислены факторы, которые надо рассмотреть при выборе преобразователя.

Классификация		Связанные характеристики			
		Скорость и момент	Параметры времени	Перегруз. способность	Пусковой момент
Тип нагрузки	Фрикционная нагрузка и подъем груза. Вязкая нагрузка. Высокоинерционная нагрузка. Нагрузка с передачей и накоплением энергии.	•			•
Характеристики скорости и момента	Постоянный момент Постоянная скорость Уменьшающийся момент Уменьшающаяся скорость	•	•		
Характер нагрузки	Постоянная нагрузка Ударная нагрузка Периодически изменяющаяся нагрузка Высокий начальн. момент Низкий начальн. момент	•	•	•	•
Продолжительный режим на ном. скор. Продолжительный режим на низкой/средней скорости. Повторно-кратковременный режим.			•	•	

Максимальный вых. ток (мгновенный) Постоянный вых. ток (продолжит)	•		•	
Максимальная частота Номинальная частота	•			
Мощность или импеданс источника питания (распред. трансформатора + провода). Скачки напряжения или дисбаланс фаз. Число фаз, частота.			•	•
Механическое трение, потери в проводниках			•	•
Изменение рабочего цикла		•		

С.1 Выбор ПЧ по энергетике (по электрической совместимости с двигателем, как электрической нагрузкой)

1. При работе одного ПЧ с одним двигателем выбор ПЧ может производиться несколькими способами:

1.1 Паспортная мощность ПЧ [кВт] должна быть больше или равна паспортной мощности двигателя [кВт]. Причем, изготовители ПЧ всегда указывают, что этот критерий распространяется на двигатели с двумя парами полюсов ($2p=4$ и синхронная скорость вращения соответственно равна 1500 об/мин), работающих на нагрузку с постоянным моментом (транспортёр, конвейер), для преобразователей с перегрузочной способностью 150% и, - работающих на центробежные насосы и вентиляторы, для ПЧ с перегрузочной способностью 120%.

Примечание. Согласно Российским и международным стандартам для электродвигателей принимается, что мощность в кВт относится к механической мощности двигателя на валу, а не к потребляемой от источника питания активной мощности, как это принято для других потребителей электрической энергии!

ПЧ с перегрузочной способностью 150% для работы на центробежный насос часто можно выбрать на ступень ниже паспортной мощности [кВт] двигателя. Многие производители нормируют номинальные токи и мощности ПЧ при работе на переменный и постоянный момент. Некоторые производители выделяют специальную серию для работы только на нагрузку с переменным моментом, например, компания DELTA ELECTRONICS выпускает серию VFD-F, максимально оптимизированную для работы с центробежными насосами и вентиляторами.

Для работы в составе подъемного механизма может потребоваться ПЧ, имеющий номинальную мощность, на две ступени выше паспортной мощности [кВт] двигателя.

1.2 Номинальный длительный ток ПЧ должен быть больше (или равен) фактического длительного тока, потребляемого двигателем.

Примечание. Пусковой ток двигателя ограничивается преобразователем по уровню (120-200% от номинального тока ПЧ) и по времени действия (обычно до 60 сек), поэтому, условия пуска двигателя при питании напрямую от сети и при питании от ПЧ отличаются. При подаче номинального напряжения на двигатель напрямую (например, рубильником, пускателем) от сети, пусковой ток может достигать семикратного значения от номинального тока двигателя. При пуске (это плавный пуск, с плавным нарастанием частоты питающего двигателя напряжения) двигателя от ПЧ пусковой ток может быть снижен (до номинального или реально потребляемого двигателем в установившемся режиме) настройками (главным образом – установкой времени разгона). В случае, если требуется быстро разогнать инерционную нагрузку может потребоваться ПЧ большей номинальной мощности, чем мощность двигателя. Численная проверка возможности обеспечения преобразователем требуемого пуска двигателя приведена ниже.

1.3 Более точные критерии выбора ПЧ для различных условий использования привода:

а) работа двигателя на установившейся скорости.

Если ПЧ работает с одним двигателем, требуемая полная пусковая мощность ПЧ (кВА) рассчитывается следующим образом:

$$\left[\frac{k \times n}{9550 \times \eta \times \cos \varphi} \times \left(M_{ст} + \frac{J}{9.55} \times \frac{n}{t_a} \right) \right] \leq 1.5 \times \text{мощность ПЧ (кВА)}$$

По ниже приведенной формуле рассчитывается ток $I_{потр}$ [А], который потребляет двигатель при работе от преобразователя частоты при напряжении V сети 220/380В.

Данная формула позволяет рассчитать ток через механические характеристики двигателя n и M :

$$I_{потр} = \frac{k * n * M}{9,55 * \eta * \cos \varphi * V * \sqrt{3}}, \quad \text{где:}$$

k - коэффициент искажения тока, связанный с алгоритмом формирования синусоиды тока с помощью ШИМ (широтно-импульсной модуляции напряжения на двигателе). Этот коэффициент может принимать значения от 0,95 до 1,05 и не имеет размерности. В первом приближении можно принять его равным 1;

n - частота вращения вала двигателя, **об/мин**;
 M - момент нагрузки на валу двигателя, **Н*м**, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

9,55 - коэффициент приведения внесистемных (по отношению к принятым в системе СИ) единиц;

η - коэффициент полезного действия (КПД) двигателя, чаще всего это паспортный КПД;
 $\cos \varphi$ - косинус или коэффициент мощности из спецификации на двигатель, примерно, 0,8...0,85.

Можно взять номинальный ток двигателя из его спецификации.

Потребляемый двигателем ток ($I_{\text{потр}}$) должен быть меньше, номинального тока ПЧ, приведенного в спецификации!

б) возможность разгона двигателя преобразователем от меньшей скорости до большей за заданное время t .

По этому критерию проверяется возможность пуска/разгона двигателя преобразователем до заданной скорости вращения вала за требуемое время без превышения перегрузочной способности преобразователя.

По ниже приведенной формуле рассчитывается ток $I_{\text{потр}}$ [А], который потребляет двигатель при линейном разгоне (в этом случае, производную угловой скорости можно заменить на отношение приращения частоты вращения ($\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta n}{9,55 * \Delta t}$) с приведением внесистемных единиц об/мин к рад/сек с помощью коэффициента 9,55) от преобразователя частоты:

$$I_{\text{потр.р.}} = \frac{k * n}{9,55 * \eta * \cos \varphi * V * \sqrt{3}} * (M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}})$$

, где:

$M_{ст}$ - статический момент нагрузки на валу двигателя, **Н*м**, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

$$M_{ст}(Нм) = \frac{P_{н(кВт)} \times 9550}{n(об/мин)}$$

$M_{дин} = \frac{J}{9,55} * \frac{n}{t}$ - динамический момент нагрузки, возникающий при разгоне инерционной нагрузки, **Н*м**;

J - приведенный к валу двигателя момент инерции нагрузки, **кг*м²**. Если вал двигателя не связан с инерционными механизмами или двигатель работает на холостом ходу, то приведенный момент инерции равен моменту инерции ротора двигателя, приводимый в спецификации на двигатель;

n - частота вращения, **об/мин**, до которой нужно разогнать двигатель за время t ;

t - время, **сек**, в течение которого требуется разогнать двигатель до частоты вращения

V - линейное напряжение (действующее значение) на обмотках двигателя, **В**;

Ток потребляемый двигателем при разгоне ($I_{потр.р.}$) не должен превышать пускового тока, приведенного в спецификации на ПЧ. Время разгона двигателя при пусковом токе 150% (120% для «насосных» ПЧ) от номинального преобразователя обычно не должно превышать 60 сек (см. спецификацию ПЧ).

Для расчета полной потребляемой двигателем мощности в номинальном установившемся режиме используйте формулу:

$$S_{потр}[кВА] = \frac{k * P}{\eta * \cos \varphi}$$

где P – номинальная мощность двигателя, **кВт** (из спецификации);

Остальные величины определены выше.

2. При работе одного ПЧ с несколькими двигателями выбор ПЧ может производиться на основании соблюдения неравенств, приведенных в табл.

Параметр	Формула, выражение, условие	
Полная пусковая мощность, требуемая двигателю S пуск дв =	$\frac{k * n}{\eta * \cos \varphi} * [N + N_s * (K_s - 1)] = S * \left[1 + \frac{N_s}{N} * (K_s - 1) \right]$	
Пусковой ток, требуемый двигателю I пуск дв =	$N * I_n * \left[1 + \frac{N_s}{N} * (K_s - 1) \right]$	
	При разгоне до 60 сек:	При разгоне свыше 60 сек:
S пуск дв	$\leq 1,5 * \text{ном мощность ПЧ [кВА]}$	$\leq \text{ном мощность ПЧ [кВА]}$
I пуск дв	$\leq 1,5 * \text{ном ток ПЧ [A]}$	$\leq \text{ном ток ПЧ [A]}$

N – количество двигателей, параллельно подсоединенных к одному ПЧ, шт;

N_s – количество одновременно запускаемых двигателей, шт.;

K_s – коэффициент кратности пускового тока M_{пуск}/M_{ном};

S – полная номинальная мощность двигателя по паспорту, кВА;

I_n – номинальный ток двигателя по паспорту, А;

С.2 Общие замечания по выбору и эксплуатации преобразователя

Замечания по выбору

- A. Если используется специальный двигатель или более одного двигателя подключенных параллельно к одному ПЧ, выбирайте ПЧ с номинальным током ≥ 1.25 номинального тока специального двигателя или суммы номинальных токов всех подключенных в параллель двигателей.
- B. Характеристики пуска и разгона/торможения двигателя ограничиваются номинальным током и перегрузочной способностью ПЧ. Если требуется высокий пусковой (например, для центрифуг, подъемников и т.д.) выбирайте ПЧ с запасом по мощности или используйте и ПЧ и двигатель большей мощности.
- C. Если произойдет отключение ПЧ из-за срабатывания одной из его защит, то напряжение с выхода инвертора будет снято, а двигатель будет тормозиться на

свободном выбеге. При необходимости быстрой остановки двигателя при аварийном отключении используйте внешний механический тормоз.

- D. Количество повторных пусков ПЧ командами ПУСК/СТОП неограничено, если инвертор не перегружается, иначе каждый последующий пуск двигателя от ПЧ должен осуществляться не ранее, чем через 5 - 10 минут (время необходимое для охлаждения IGBT модуля) при следующих условиях:

- выходной ток при пуске двигателя $I_{вых} \geq 150\% I_{ном}$ в течение 60 сек, далее работа ПЧ при номинальном токе;

- температура охлаждающего ПЧ воздуха + 40°C

- сработала защита от перегрузки по току (oL, oc, oSA, ocd, osp).

Это предельная циклограмма повторно-кратковременной работы ПЧ, которая обеспечивает предельно-допустимый нагрев кристаллов IGBT. При необходимости осуществления пуска двигателя чаще, чем 1 раз за 5-10 мин нужно выбрать ПЧ большего номинала или работать при менее тяжелом режиме (меньший пусковой ток при меньшем времени пуска, работа с выходным током меньше номинального, низкая температуры окружающего воздуха). В любом случае необходимо проконсультироваться с поставщиком.

Замечания по установке параметров

- A. ПЧ может выдать выходную частоту до 400Гц (кроме некоторых моделей) при задании её с цифровой панели. Ошибочное задание высокой частоты может привести к разрушению механизма. Для предотвращения таких ситуаций рекомендуется устанавливать в параметрах жесткое ограничение выходной частоты.
- B. Длительная работа двигателя на низкой скорости или высокий уровень напряжения торможения постоянным током может привести к перегреву двигателя. Рекомендуется использовать в таких случаях дополнительную вентиляцию двигателя.
- C. Фактическое время разгона двигателя определяется номинальным моментом двигателя, моментом вращения и моментом инерции нагрузки.

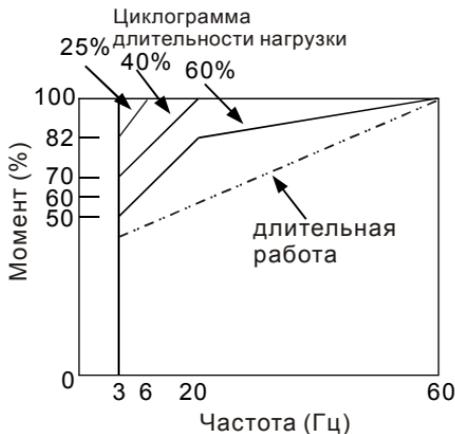
- D. Если активизирована функция ограничения перенапряжения в звене постоянного тока, то время торможения может автоматически увеличиваться. При необходимости быстрого торможения высокоинерционных нагрузок надо использовать тормозной резистор или выбрать ПЧ большей мощности.

С.3 Как выбрать подходящий двигатель

Стандартный асинхронный двигатель

При работе ПЧ со стандартным 3-х фазным асинхронным двигателем следует иметь ввиду следующие особенности:

- A. При питании стандартного трехфазного асинхронного двигателя от преобразователя частоты потери в двигателе меньше, чем при его непосредственном питании от сети переменного тока. За счет снижения реактивной составляющей тока.
- B. При работе стандартного асинхронного двигателя на скорости ниже номинальной (особенно с моментом близким к номинальному) возможен перегрев двигателя из-за уменьшения охлаждения за счет снижения скорости обдува собственным вентилятором. Возможное решение проблемы – применение внешнего независимого вентилятора.
- C. Стандартный асинхронный двигатель может обеспечить длительный максимальный (из условий теплового режима) момент только на номинальной частоте вращения, поэтому, при снижении скорости вращения необходимо уменьшать нагрузку на валу двигателя.
- D. Допустимые нагрузки для стандартного асинхронного двигателя:



- Е. Для обеспечения длительных номинальных моментов при низких скоростях вращения следует использовать специальные двигатели (возможно успешное применение стандартных двигателей с номинальными частотами 750, 1000, 1500 об/мин) или двигателей завышенной мощности.
- Ф. При использовании стандартного двигателя (например, рассчитанного на питание от сети 50Гц) на больших частотах, которые обеспечивает ПЧ, следует учитывать ограничения связанные с ресурсом подшипников и повышенной вибрации из-за остаточного дисбаланса ротора и исполнительного механизма.
- Г. В связи с использованием в ПЧ высокой несущей частоты ШИМ обратите внимание на следующие факторы:
- *Резонансная механическая вибрация: используйте антивибрационные резиновые демпферы на оборудовании.*
 - *Дисбаланс ротора двигателя: особенно при работе на скоростях выше номинальной.*
 - *Избегайте работы на резонансных частотах настройкой в параметрах частот пропуска.*
- Н. Вентилятор двигателя будет сильнее шуметь на скоростях выше номинальной.

Специальные двигатели:

- A. Многоскоростные (с переключением числа полюсов) асинхронные двигатели:
Номинальный ток этих двигателей отличается от стандартного двигателя такой же мощности. Учтите это при выборе мощности ПЧ: выбирайте по току. Старайтесь избегать переключения полюсов при работе привода и используйте торможение на свободном выбеге.
- B. Погружной электродвигатель:
Номинальный ток этих двигателей больше, чем у стандартного двигателя такой же мощности. Учтите это при выборе мощности ПЧ: выбирайте по току. На длинном моторном кабеле может происходить большое падение напряжения, что в свою очередь приведет к снижению момента, развиваемого двигателем. В этом случае используйте моторный кабель с большим сечением.
- C. Взрывобезопасный двигатель:
Должен быть установлен и смонтирован в соответствии с требованиями по взрывобезопасности. Преобразователи частоты VFD не отвечают специальным требованиям по взрывобезопасности.
- D. Мотор-редуктор:
Методы смазки в редукторах и требования к скоростному режиму у редукторов различных производителей могут быть разными. При работе длительное время на низких или высоких скоростях надо учесть снижение эффективности осуществления смазки.
- E. Синхронный двигатель:
Синхронные двигатели имеют постоянную рабочую скорость, которая не меняется во время стандартных изменений нагрузки. Они работают со скольжением 0%. Синхронные двигатели при асинхронной работе (при быстром пуске или выходе из синхронизма) выдают многократный номинальный ток. Во время перегрузки они теряют синхронность. ПЧ должен выбираться по току в синхронных двигателях и соответственно завышенного габарита.

Механизмы преобразования механической энергии

Обратите внимание, что при длительной работе на низкой частоте в редукторах, в механизмах с ременной и цепной передачей и др. может снижаться эффективность смазки. А при работе на высокой частоте (50/60Гц и выше) будет увеличиваться шум, вибрации и износ механических частей.

Вращающий момент двигателя

При питании стандартного трехфазного асинхронного двигателя от преобразователя частоты и при его непосредственном питании от сети переменного тока, его рабочие характеристики будут отличаться.

Ниже приведены зависимости момента от скорости при питании стандартного асинхронного двигателя (4 полюса, 15кВт) от ПЧ и от сети переменного тока:

