

Выбор преобразователя частоты для привода переменного тока. Основные критерии

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – наиболее простой по конструкции, надежный и дешевый тип двигателя для применения в приводах промышленных механизмов и машин. С появлением современных силовых полупроводниковых приборов – IGBT-модулей и ГТО-тиристоры, - созданы гибкие и эффективные преобразователи частоты (ПЧ), позволяющие регулировать скорость асинхронных электродвигателей в широком диапазоне с одновременным управлением усилием на валу двигателя. Правильный выбор ПЧ совместно с двигателем позволяет создать эффективный и долговечный привод для практически любого вида механизмов промышленного или бытового применения.

Большинство производителей ПЧ представляет технические характеристики своих изделий упорядоченно в виде нескольких функционально объединенных разделов:

- Энергетические и выходные характеристики;
- Характеристики источника питания ПЧ;
- Характеристики управления ПЧ;
- Характеристики защитных функций ПЧ;
- Характеристики размещения, транспортировки, хранения.



Описание процедуры подбора преобразователя частоты для конкретного применения имеет смысл представить в той же последовательности.

Выбор преобразователя частоты по энергетическим и внешним характеристикам

Подбор электродвигателя не входит в задачи данного обзора, поэтому будем считать, что проектант имеет исчерпывающую информацию о двигателе и свойствах нагрузки. Когда речь идет о мощности двигателя, подразумевается механическая мощность на валу. Для оценки потребляемой двигателем (входной) мощности, т. е. мощности нагрузки ПЧ, следует учитывать к.п.д. (η) и коэффициент мощности ($\cos \varphi$) двигателя. Момент на валу двигателя принято представлять двумя составляющими: статической и динамической. Первая - момент, расходуемый на преодоление сил сопротивления и трения в рабочем механизме. Вторая – момент, расходуемый на преодоление инерции маховых масс самого двигателя, присоединенной трансмиссии и рабочего механизма.

Существует довольно обширный класс промышленных механизмов, в которых момент на валу электродвигателя однозначно связан со скоростью вращения, а пуско-тормозные режимы составляют незначительную часть рабочего цикла. К ним относятся центробежные насосы и вентиляторы, транспортеры, конвейеры, рольганги и т. п. В этих случаях подобрать ПЧ можно по мощности двигателя: паспортная мощность ПЧ ($S_{пч}$) должна быть больше или равна мощности, потребляемой двигателем по цепи питания.

$$S_{пч} \geq [k * P_{дв}] / [\eta * \cos \varphi]$$

Здесь $P_{дв}$ – паспортное значение мощности электродвигателя; k – коэффициент искажений кривой тока ПЧ, учитывающий ШИМ - модуляцию выходного напряжения.

Для преобразователей, предназначенных для работы в составе транспортеров и конвейеров характерна перегрузочная способность до 150%, а в приводах вентиляторов и насосов – до 120%. С учетом этого, в отдельных случаях можно выбирать преобразователь на ступень ниже по мощности.



Подход меняется в тех случаях, когда в нагрузке привода значительную роль играет динамическая составляющая. Это характерно для механизмов с существенно непостоянным моментом инерции рабочей машины или когда режимы разгона, торможения и реверса повторяются часто или существенно ограничены по времени. К таким относятся приводы металлургического и подъемно-транспортного оборудования, металлообрабатывающих станков, электротранспорта и т. п.

Из двух элементов привода – ПЧ и электродвигателя – второй существенно «крепче» в электротехническом отношении. В асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором, например, при прямом пуске ток может достигать величины, в 5...7 раз превышающей номинальный, а в отдельных случаях – до 12. Если при этом температура обмоток не превысит установленную, такой режим обходится без последствий. Преобразователь частоты обладает гораздо более скромными возможностями из-за ограничений силовых полупроводниковых приборов. В большинстве моделей ПЧ предельная перегрузка допустима в диапазоне 120...200% по отношению к номинальному току. Поскольку ток двигателя напрямую определяет усилие на валу, то очевидно, что динамические возможности привода будут определяться токоограничением ПЧ. В этих случаях, помимо выбора ПЧ по мощности, обязательна проверка преобразователя по предельному току при выполнении разгона максимальной интенсивности, или наоборот, возможность обеспечения времени разгона при предельном токе ПЧ. Для случая постоянного ускорения можно воспользоваться известными соотношениями для действующего значения предельного тока ($I_{пр}$) и времени разгона (Δt_p):

$$I_{пр} = [k \cdot (M_{ст} + M_{дин}) \cdot \Delta n] / [9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_n]$$

$$M_{дин} = [J \cdot \Delta n] / [9,55 \cdot \Delta t_p]$$

Здесь: Δn – приращение скорости в течение переходного процесса (об/мин); $M_{ст}$ – статическая составляющая момента вала двигателя (обычно – паспортное значение номинального момента, $n^* \cdot m$); $M_{дин}$ – динамическая составляющая момента двигателя ($n^* \cdot m$); U_n – линейное напряжение, подводимое к двигателю (действующее значение, В); J – суммарный момент инерции механизма и двигателя, приведенный к валу двигателя ($n^* \cdot m / \text{сек}^2$).

Если предельный ток $I_{пр}$ превышает ток ограничения ПЧ, или время разгона Δt_p больше, чем требуемое, нужно выбирать преобразователь стоящий выше по шкале мощностей. Иногда производитель ПЧ указывает допустимое время разгона при предельно допустимом токе - до 60 сек.

Правильный выбор ПЧ невозможен без учета решений по режимам торможения. Выбор определяет не только модель ПЧ, но и стоимость. Применяются три основных метода:

- Рекуперативное торможение с отдачей энергии в питающую сеть. Наиболее выгодно с энергетической стороны, однако увеличиваются капитальные затраты. ПЧ, обладающие такой функцией, относительно дороги. Для прочих необходима установка дополнительных рекуперационных модулей, что так же влечет увеличение капитальных затрат. Окупаемость таких затрат реальна в приводах, работающих в режимах часто повторяющихся пусков, торможений и реверсов (например – электротранспорт);
- Динамическое торможение с разрядом энергии промежуточного звена преобразователя на дополнительное сопротивление. ПЧ этих моделей снабжаются встроенным модулем тормозного прерывателя. В приводах небольшой мощности встроенным может быть и тормозной резистор, однако, чаще всего это внешнее устройство, требующее так же дополнительных затрат. В двух этих случаях для оценки тока нагрузки ПЧ или времени движения могут использоваться приведенные выше соотношения. При этом должен быть изменен на противоположный знак статического момента $M_{ст}$ (а в некоторых случаях и его числовое значение).
- Торможение противовключением. Обмотка двигателя подключается к постоянному напряжению; возникающий магнитный поток способствует появлению тормозного усилия, при этом энергия рассеивается на обмотках двигателя и в источнике постоянного напряжения. Способ дешевый, но, ввиду значительного нагрева, применим только при очень небольших скоростях.



Учет характеристик сети питания при выборе преобразователя частоты

После согласования величин напряжения, количества фаз и частоты питающей сети, очень важно оценить реальные диапазоны колебаний этих характеристик в реальных условиях эксплуатации. Значительные динамические нагрузки ПЧ способствуют сильным колебаниям питающего напряжения. Оценить это можно, зная реактивное сопротивление питающей сети или, хотя бы, частичного импеданса, вносимого питающим трансформатором и подводными кабелями. Ситуация усугубляется в случаях, когда для ПЧ обязательно применение сетевого дросселя. Падение напряжения питания ПЧ при максимальных нагрузках должно оставаться в допустимых пределах. В противном случае необходимо определить: позволяют ли функциональные возможности ПЧ сохранить работоспособность рабочего механизма при провале питающего напряжения. Этот вопрос рассмотрен далее, в разделе выбора ПЧ по некоторым защитным функциям.

Выбор преобразователя частоты по характеристикам управления

Главный вопрос подбора ПЧ по этим критериям - выбор метода управления: скалярный или векторный. Это вплотную касается как реализации технологических требований к приводу, так и стоимости. Выбор определяется требуемым диапазоном и точностью регулирования частоты и характером нагрузки двигателя. Различают 4 метода управления:

- Скалярный метод: подходит для электроприводов с известной взаимозависимостью момента двигателя и частоты вращения. При этом диапазон регулирования должен быть невелик, миним. частота 5...10 Гц.
- Скалярный метод управления с обратной связью по скорости. Применяется для точного поддержания и регулирования скорости механизма. И здесь необходимо знать точную взаимозависимость нагрузки и скорости. Обычно в режиме скалярного управления реализуется определенного вида соотношение U/f (питающее напряжение к частоте питающего напряжения). Этот метод лучше всего подходит для вентиляторов, центробежных насосов, транспортеров, конвейеров.
- Векторный метод управления. Применяется в случаях, когда взаимозависимость момента и скорости не известна, случайна или аналитически не выражается. Но при этом необходимо поддерживать заданное значение момента нагрузки при широком диапазоне регулирования скорости.
- Векторный метод управления с обратной связью по скорости. Применяется в механизмах со сложным характером нагрузки при необходимости поддерживать и момент, и скорость в широком диапазоне и с высокой точностью.

Возможность реализации векторного метода управления подразумевает присутствие в составе ПЧ относительно мощного процессора, способного в течение нескольких десятков миллисекунд произвести полный пересчет всего вектора параметров привода. Это влияет на стоимость ПЧ. В качестве датчика скорости обычно применяется инкрементальный энкодер, не всегда присутствующий в базовой комплектации. При выборе ПЧ и метода управления должно быть учтено увеличение капитальных затрат, связанное с этими обстоятельствами.



Выбор преобразователя частоты по некоторым защитным функциям

Выпускаемые модели ПЧ обладают богатым набором защитных функций, незначительно отличающимся у отдельных моделей. Поэтому подбор ПЧ по защитным функциям важнее проводить с точки зрения наличия возможностей, обеспечивающих сохранение работоспособности привода в аварийном режиме. Необходимо установить, каковы действия преобразователя после срабатывания защитных функций:

- Каким образом будет тормозиться рабочий механизм после отключения преобразователя. Торможение «на выбеге» не всегда приемлемо по соображениям безопасности.
- Возможно ли сохранение работы привода с пропорциональным изменением скорости или автоматический перезапуск (например, при отключении сети питания), «подхват» вращающегося двигателя в установках, обладающих эффектом «ветряной мельницы», или двигающегося по инерции (при восстановлении питания) и т. п.

Если имеющиеся функциональные возможности обеспечивают сохранение работоспособности привода или даже обеспечивают приемлемый режим его работы, то можно считать, что вопрос выбора ПЧ по критериям защитных функций решен.

Учет факторов размещения при подборе преобразователей частоты

Место установки и эксплуатации ПЧ должно полностью удовлетворять паспортным требованиям по температурному диапазону, влажности, высоте положения, условиям вибрации и запыленности, степени защиты по IP. Однако есть один неочевидный момент, влияющий на выбор ПЧ при конкретных условиях размещения. Существенным является расстояние удаленности преобразователя от электродвигателя. При превышении определенного расстояния, зависящего от модели ПЧ, типа кабеля, тока двигателя и др., необходима установка специального моторного дросселя. Появление этого элемента снижает эффективные характеристики привода. В качестве альтернативы возможен переход к другой модели ПЧ. дешевый, но, ввиду значительного нагрева, применим только при очень небольших скоростях.

