

Устройства плавного пуска: правильный выбор

Назначение УПП

Как следует из названия, задача прибора – организовать плавный пуск асинхронного двигателя переменного тока. Дело в том, что при прямом пуске (то есть при подключении двигателя к питающей сети при помощи обычного пускателя) двигатель потребляет пусковой ток, превышающий номинальный в 5-7 раз, и развивает пусковой момент, существенно превышающий номинальный. Все это приводит к двум группам проблем:

- 1) Пуск слишком быстрый, и это приводит к различным неприятностям – гидравлическим ударам, рывкам в механизме, ударному выбору люфтов, обрыву транспортерных лент и т.д.
- 2) Пуск тяжелый, и завершить его не удастся. Здесь сначала нужно определиться с термином "тяжелый пуск" и возможностями его "облегчения" при помощи УПП. К "тяжелому пуску" обычно относят три разновидности пуска:

а) пуск, "тяжелый" для питающей сети – от сети требуется ток, который она может обеспечить с трудом или не может вообще. Характерные признаки: при пуске отключаются автоматы на входе системы, в процессе пуска гаснут лампочки и отключаются некоторые реле и контакторы, останавливается питающий генератор. Скорее всего, УПП тут действительно поправит дело. Однако следует помнить, что в лучшем случае пусковой ток удастся снизить до 250% от номинального тока двигателя, и если этого недостаточно, то решение одно – необходимо использовать преобразователь частоты.

б) Двигатель не может запустить механизм при прямом пуске – не крутится вообще или "зависает" на определенной скорости и остается на ней до срабатывания защиты. Увы, УПП ему не поможет – двигателю не хватает момента на валу. Возможно, с задачей справится преобразователь частоты, но этот случай требует исследования.

в) Двигатель уверенно разгоняет механизм, но не успевает дойти до номинальной частоты – срабатывает автомат на входе. Такое часто бывает на тяжелых вентиляторах с достаточно высокой частотой вращения. [Устройство плавного пуска](#) здесь, скорее всего, поможет, но риск неудачи сохраняется. Чем ближе механизм к номинальной скорости в момент срабатывания защиты, тем больше вероятность успеха.

Организация пуска при помощи УПП

Принцип работы устройства плавного пуска заключается в том, что напряжение, подаваемое от сети через УПП на нагрузку, ограничивается при помощи специальных силовых ключей – симисторов (или встречно – параллельно включенных тиристоров) – см. рис. 1. В результате напряжение на нагрузке можно регулировать.

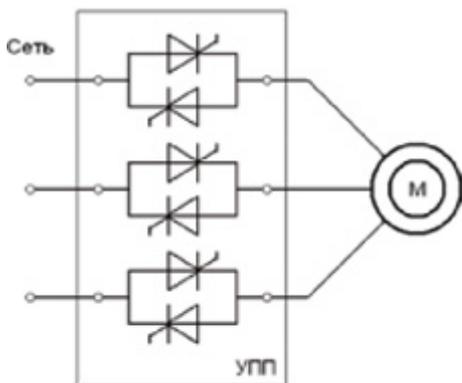


Рис. 1

Немного теории: процесс пуска – это процесс преобразования электрической энергии источника питания в кинетическую энергию работающего на номинальной скорости механизма. Очень упрощенно этот процесс можно описать так:

сопротивление двигателя R в процессе разгона увеличивается от очень маленького при остановленном двигателе до достаточно большого на номинальной скорости, поэтому ток, который по закону Ома равен:

$$I = U / R \quad (1)$$

оказывается очень большим, а передача энергии

$$E = P \times t = I \times U \times t \quad (2)$$

очень быстрой. Если между сетью и двигателем установить УПП, то формула (1) действует на его выходе, а формула (2) – на входе. Понятно, что ток в обеих формулах одинаковый. УПП ограничивает напряжение на двигателе, плавно повышая его по мере разгона вслед за ростом сопротивления, ограничивая, таким образом, потребляемый ток. Поэтому по формуле (2) при постоянстве необходимой энергии E и напряжении сети U чем меньше ток I , тем больше время пуска t . Отсюда видно, что при снижении напряжения будут решаться как проблемы, связанные со слишком быстрым пуском, так и проблемы, связанные со слишком большим током, потребляемым от сети.

Однако в наших выкладках не учитывалась нагрузка, для разгона которой нужен дополнительный момент, и соответственно дополнительный ток, поэтому уменьшать ток слишком сильно нельзя. Если нагрузка велика, то момента на валу двигателя может не хватить даже при прямом пуске, не говоря уже о пуске при пониженном напряжении – это вариант тяжелого пуска "б", описанный выше. Если же при снижении тока момент оказывается достаточным для разгона, но время в формуле (2) растет, то может сработать автомат – с его точки зрения время протекания тока, существенно превышающего номинальный, недопустимо велико (вариант тяжелого пуска "в").

Основные характеристики УПП. Возможность контроля тока. По существу это способность УПП регулировать напряжение так, чтобы ток изменялся по заданной характеристике. Эта функция обычно называется пуском в функции тока. Простейшие УПП, не имеющие такой возможности, просто регулируют напряжение в функции времени – т.е. напряжение на двигателе плавно возрастает от начального до номинального за заданное время. Во многих случаях этого достаточно, особенно при решении проблем группы 1. Но если основная причина установки УПП – ограничение тока, то без его точного регулирования не обойтись. Эта функция особенно важна тогда, когда из-за ограниченной мощности сети (маленький трансформатор, слабый генератор, тонкий кабель и т.п.) превышение предельно допустимого тока чревато аварией. Кроме того, УПП с контролем тока способны реализовать его плавное нарастание в начале процесса пуска, что особенно важно при работе от генераторов, которые очень чувствительны к резким броскам нагрузки.

Необходимость шунтирования.

По окончании процесса пуска и достижении номинального напряжения на двигателе УПП желательно вывести из силовой цепи. Для этого применяется шунтирующий контактор, соединяющий вход и выход УПП пофазно (см. рис. 2).

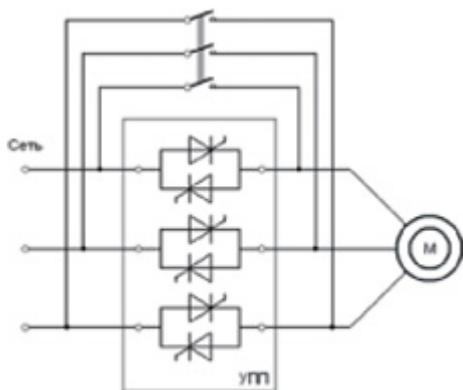


Рис.2

По команде от УПП этот контактор замыкается, и ток течет в обход прибора, что позволяет его силовым элементам полностью остыть. Однако, даже при отсутствии шунтирующей цепи, когда во все время работы двигателя через симисторы течет номинальный силовой ток, их нагрев по сравнению с режимом пуска оказывается небольшим, поэтому многие УПП допускают работу без шунтирования. Платой за такую возможность оказывается немного меньший номинальный ток и существенное увеличение веса и габаритов за счет радиатора, необходимого для отвода тепла от силовых ключей. Некоторые УПП строятся по обратному принципу – в них шунтирующий контактор уже встроен, и на работу без шунтирования они не рассчитаны, поэтому из-за уменьшения охлаждающих радиаторов их размеры оказываются минимальными. Это положительно сказывается и на цене, и на получающейся схеме подключения, но их время работы в пусковом режиме оказывается меньше по сравнению с другими приборами.

Количество регулируемых фаз.

По этому параметру УПП делятся на двухфазные и трехфазные. В двухфазных, как это следует из названия, ключи установлены только в двух фазах, третья же подключается к двигателю напрямую. Плюсы – снижение нагрева, уменьшение габаритов и цены.

Минусы – нелинейное и несимметричное по фазам потребление тока, которое хотя и частично компенсируется специальными алгоритмами управления, все же отрицательно влияет на сеть и двигатель. Впрочем, при нечастых пусках этими недостатками можно пренебречь.

Цифровое управление. Система управления УПП может быть цифровой и аналоговой. Цифровые УПП обычно реализуются на микропроцессоре и позволяют очень гибко управлять процессом работы прибора и реализовывать множество дополнительных функций и защит, а также обеспечивать удобную индикацию и связь с управляющими системами верхнего уровня. В управлении аналоговых УПП используются операционные элементы, поэтому их функциональная насыщенность ограничена, настройка выполняется потенциометрами и переключателями, а связь с внешними системами управления обычно осуществляется при помощи дополнительных устройств.

Дополнительные функции

Защита. Кроме своей основной функции – организации плавного пуска – УПП содержат в себе комплекс защит механизма и двигателя. Как правило, в этот комплекс входит электронная защита от перегрузки и неисправностей силовой цепи. В дополнительный набор могут входить защиты от превышения времени пуска, от перекоса фаз, изменения чередования фаз, слишком маленького тока (защита от кавитации в насосах), от перегрева радиаторов УПП, от снижения частоты сети и т.д. Ко многим моделям возможно подключение термистора или термореле, встроенного в двигатель. Однако следует помнить, что УПП не может защитить ни себя, ни сеть от короткого замыкания в цепи нагрузки. Конечно, сеть будет защищена вводным автоматом, но УПП при коротком замыкании неизбежно выйдет из строя. Некоторым утешением может служить только то, что короткое замыкание при правильном монтаже не возникает мгновенно, и

в процессе снижения сопротивления нагрузки УПП обязательно отключится, только не стоит вновь включать его, не установив причину отключения.

Пониженная скорость. Некоторые устройства плавного пуска способны реализовать так называемое псевдочастотное регулирование – перевод двигателя на пониженную скорость. Этим пониженных скоростей может быть несколько, но они всегда строго определены и не поддаются коррекции пользователем.

Кроме того, работа на этих скоростях сильно ограничена по времени. Как правило, эти режимы используются в процессе отладки или при необходимости точной установки механизма в нужное положение перед началом работы или по ее окончании.

Торможение. Довольно много моделей способны подать на обмотку двигателя постоянный ток, что приводит к интенсивному торможению привода. Эта функция обычно нужна в системах с активной нагрузкой – подъемники, наклонные транспортеры, т.е. системы, которые могут двигаться сами собой при отсутствии тормоза. Иногда эта функция нужна для предпусковой остановки вентилятора, вращающегося в обратную сторону из-за тяги или действия другого вентилятора.

Толчковый пуск. Используется в механизмах, имеющих высокий момент трогания. Заключается функция в том, что в самом начале пуска на двигатель кратковременно (доли секунды) подается полное напряжение сети, и происходит срыв механизма с места, после чего дальнейший разгон происходит в обычном режиме.

Экономия энергии в насосно-вентиляторной нагрузке. Поскольку УПП представляет собой регулятор напряжения, то при малой нагрузке можно снизить напряжение питания без ущерба для работы механизма.

Экономия энергии это дает, но не следует забывать, что тиристоры в режиме ограничения напряжения являются нелинейной нагрузкой для сети со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Есть и другие возможности, которые производители закладывают в свои изделия, но для их перечисления объема одной статьи недостаточно.

Методика выбора

Теперь вернемся к тому, с чего мы начинали – к выбору конкретного прибора.

Многие советы, данные для выбора преобразователя частоты, действуют и здесь: сначала следует отобрать серии, отвечающие техническим требованиям по функциональности, затем выбрать из них те, которые охватывают диапазон мощностей для конкретного проекта, и из оставшихся выбрать нужную серию в соответствии с другими критериями – производитель, поставщик, сервис, цена, габариты, и т.д.

Если нужно выбрать УПП для насоса или вентилятора, запуск которых происходит не чаще двух-трех раз в час, то можно просто выбрать модель, номинальный ток которой равен или больше номинального тока запускаемого двигателя. Этот случай охватывает около 80% применений, и не требует консультаций со специалистом. Если же частота пусков в час превышает 10, то нужно учесть и необходимое ограничение тока, и требуемое затягивание пуска по времени. В этом случае очень желательна помощь поставщика, у которого, как правило, имеется программа выбора нужной модели или хотя бы расчетный алгоритм. Данные, которые понадобятся для расчета: номинальный ток двигателя, количество пусков в час, необходимая длительность пуска, необходимое ограничение тока, необходимая длительность останова, окружающая температура, предполагаемое шунтирование.

Если же двигатель запускается свыше 30 раз в час, то стоит рассмотреть в качестве альтернативы вариант использования преобразователя частоты, поскольку даже выбор более мощной модели УПП может не решить проблему. А цена его уже будет сравнима с ценой преобразователя при существенно меньшей функциональности и серьезному влиянию на качество сети.

Подключение

Кроме очевидного подключения прибора к сети и двигателю, необходимо определиться с шунтированием.

Несмотря на то, что шунтирующий контактор будет коммутировать номинальный, а не пусковой ток двигателя, желательно все-таки использовать модель, рассчитанную на прямой пуск – хотя бы для реализации аварийных режимов работы. При подключении следует обратить особое внимание на фазировку – если ошибочно соединить, например, фазу А на входе УПП с другой фазой на выходе, то при первом же включении шунтирующего контактора произойдет короткое замыкание, и прибор будет выведен из строя.

Некоторые УПП допускают так называемое шестипроводное подключение, схема которого показана на рис. 3. Такое подключение требует большего количества кабелей, но позволяет использовать устройство плавного пуска с двигателем, мощность которого намного превышает мощность самого УПП.

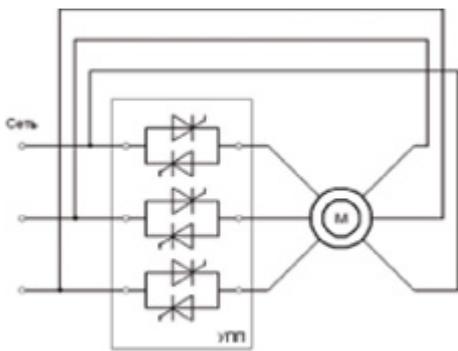


Рис.3

При установке УПП следует иметь в виду еще одно его свойство, часто приводящее к недоразумениям (см. тяжелый пуск "в"). При расчете вводного автомата для двигателя, подключающегося к сети напрямую, учитывается номинальный ток двигателя, протекающий длительное время, и пусковой, протекающий лишь несколько секунд. При использовании же УПП пусковой ток существенно меньше, но протекает он намного дольше – до минуты и более. Автомат не может этого “понять” и считает, что запуск давно завершен, а протекающий ток, превышающий номинальный в разы, является следствием аварийной ситуации, и отключает систему. Во избежание этого следует либо установить специальный автомат с возможностью установки дополнительного режима для процесса плавного пуска, либо выбрать автомат с номинальным током, соответствующим пусковому току при использовании УПП. Во втором случае этот автомат не сможет защитить двигатель от перегрузок, но эту функцию выполняет сам УПП, так что защита двигателя не пострадает.

Подведем итоги. Если механизм, пуск которого нужно сделать более плавным, вписывается во все перечисленные в этой статье ограничения, а возможности, обеспечиваемые доступными моделями УПП, вас устраивают, то ваш выбор – устройство плавного пуска. Экономия средств по сравнению с применением преобразователя частоты (заменой питающего трансформатора, увеличением мощности генератора, заменой кабеля на более толстый – выберите ваш случай) будет ощутимой. Если же УПП по каким-то причинам не подходит – еще раз обратите внимание на преобразователи частоты, которые хотя и дороже, но намного функциональнее.

Руслан Хусаинов, к.т.н., технический директор ЗАО "Сантерно" (Москва)