

# Модернизация приводов на питателях сырого угля

Алексей Петров, Николай Татаринцев

Рассматриваются вопросы выбора и применения частотно-регулируемых приводов на питателях сырого угля котельных агрегатов. Производится анализ экономических показателей замены приводов постоянного тока на современный асинхронный регулируемый электропривод с частотным управлением. Достоверность приведённых в статье выводов и рекомендаций подтверждена успешным опытом практической реализации подобных решений.

## ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Исполнительные механизмы питателей сырого угля (ПСУ) большинства существующих котельных агрегатов приводятся в движение регулируемыи электроприводами постоянного тока. Использование таких приводов на ПСУ являлось типовым для ранее разработанных систем топливоподачи (системы топливоподачи с молотковыми быстроходными мельницами). Так, в частности, на котельных агрегатах предприятия ОАО «Котласский ЦБК» регулирование скорости машин постоянного тока серии ПБ 82 осуществлялось с помощью тиристорных преобразователей. Одному котельному агрегату БКЗ-210 соответствуют три скребковых ПСУ. Тиристорные преобразователи объединены в общую станцию управления. Задание на требуемую производительность является единым для всех электроприводов, подключённых к общей тиристорной станции. Рабочая угловая скорость вращения вала двигателей изменяется в относительно узком диапазоне регулирования: от 500 до 1900 об./мин. В зависимости от требуемой производительности котлоагрегата работа может производиться на любой скорости указан-

ного диапазона в течение длительного времени.

По отношению к электроприводу питатель можно рассматривать как нагрузку, статический момент которой не зависит от скорости. Режим работы является длительным, не предусматривающим частых пусков и остановок. Жёсткие требования к динамике электропривода не предъявляются, также не накладываются ограничения на характер переходных процессов при пуске, торможении и переходе с одной скорости на другую.

Из общей характеристики следует, что требования к работе электроприво-

да в штатном режиме сравнительно невелики. Однако при эксплуатации не исключены кратковременные скачкообразные «набросы» нагрузки, сопровождаемые существенным ростом статического момента, вплоть до заклинивания исполнительного механизма. Кроме того, необходимо постоянно учитывать, что электрические машины эксплуатируются в окружающей среде, насыщенной угольной пылью.

При модернизации таких электроприводов стремятся не только уйти от морально устаревшего и физически изношенного оборудования, но и решить ряд задач технико-экономического характера, а именно:

- снижение эксплуатационных расходов по обслуживанию системы;
- повышение технологической гибкости через совершенствование управления;
- обеспечение возможности интеграции в систему управления более высокого уровня.

В таких случаях предлагается перейти к использованию асинхронных электроприводов с частотным регулированием, которые по функциональным возможностям и эксплуатационным характеристикам отвечают техническим



Котласский целлюлозно-бумажный комбинат

требованиям и условиям поставленной задачи.

### ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

При принятии решения о переходе к асинхронному электроприводу ПСУ необходимо правильно оценить затраты и, что более важно, соизмерить их с достигаемым при этом эффектом. Перечислим экономические предпосылки перехода к асинхронному электроприводу, наиболее значимые для рассматриваемого объекта автоматизации.

- 1. Стоимость.** Асинхронная короткозамкнутая машина имеет более низкую стоимость по сравнению с машиной постоянного тока.
- 2. Затраты на обслуживание.** Асинхронная короткозамкнутая машина практически не требует обслуживания в течение всего времени эксплуатации, в то время как машина постоянного тока нуждается в регулярном обслуживании коллекторного узла.
- 3. Затраты на ремонт электрической машины.** Общий объём затрат на организацию и проведение ремонта двигателей постоянного тока зачастую оказывается соизмеримым (а для данного объекта автоматизации — даже большим) по сравнению со стоимостью новой асинхронной короткозамкнутой машины.
- 4. Затраты на обеспечение требуемой степени защиты.** Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин ПСУ не ниже IP54. Ввиду наличия коллекторного узла изготовление машины постоянного тока, имеющей высокую степень защиты, вызывает её существенное удорожание и осложняет обслуживание. Иногда прибегают к созданию локальных условий с целью установки машины в более благоприятной окружающей среде, но это требует ещё больших затрат.

Перечисленные предпосылки относятся только к электрическим машинам без учёта преобразователей, с которыми они используются в электро-

приводе. Тиристорные преобразователи приводов постоянного тока на ныне действующих ПСУ часто являются морально устаревшими и давно отработавшими свой ресурс. Это приводит не только к дополнительным затратам на поддержание их работоспособности и снижению надёжности технологического процесса в целом, но также к невозможности включения этих устройств в состав современных систем управления без значительной доработки.

Соответственно, приведённые преимущества асинхронной машины не учитывают тот факт, что машина будет работать совместно с преобразователем частоты. Между тем, незнание ряда особенностей такой работы (по существу — недостатков) может привести в лучшем случае к нерациональному использованию привода, а в худшем — к неправильному его выбору. Отметим те особенности, которые связаны с энергетическими показателями и которые надо учитывать для правильного выбора привода по мощности.

- 1.** При работе асинхронных двигателей совместно с преобразователями частоты их КПД снижается в среднем на 2...3%, а  $\cos\varphi$  — на величину до 5%.
- 2.** Добавочные высокочастотные потери, вызванные несинусоидальностью напряжения, проявляются в дополнительном нагреве двигателя и снижении полезной мощности на его валу на величину до 25%.

Наличие добавочных потерь в обмотках и стали магнитопровода обусловлено высшими гармониками тока и магнитного потока. Поэтому при использовании асинхронных приводов с частотным регулированием принимают меры по улучшению гармонического состава тока (устанавливают дополнительные устройства, корректируют параметры настройки преобразователя и т.п.).

### ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА

Выбор частотно-регулируемого привода для ПСУ имеет ряд особенностей. Укажем те из них, которые наиболее характерны для рассматриваемого типа объектов автоматизации.

Напомним, что диапазон изменения скорости приводов ПСУ невелик и

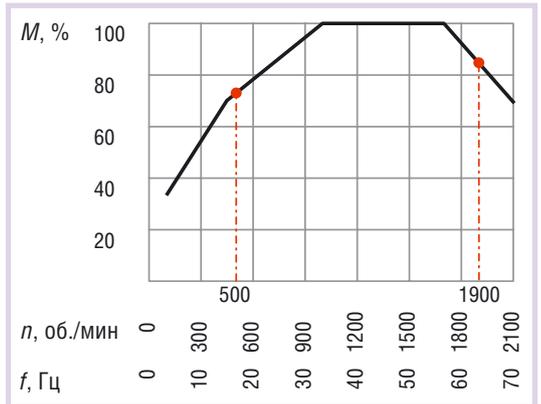


Рис. 1. Зависимость момента ( $M$ ) от частоты ( $f$ ) для асинхронного двигателя с номинальной скоростью вращения 1500 об./мин (на графике показаны границы диапазона скоростей привода ПСУ — 500 и 1900 об./мин)

может обеспечиваться достаточно простым и широко распространённым методом управления — вольт-частотным. Диапазон регулирования современных асинхронных электроприводов при вольт-частотном методе управления, как правило, составляет 1:40, что является вполне достаточным для ПСУ. Помимо того, вольт-частотное управление при соблюдении закона  $U/f = const$  обеспечивает постоянство критического момента, необходимое для данного типа нагрузки. Однако само расположение нижней (500 об./мин) и верхней (1900 об./мин) границ диапазона скоростей приводов ПСУ является «несколько неудобным» для стандартного ряда асинхронных машин. В наибольшей степени такому диапазону соответствуют асинхронные двигатели с синхронными скоростями 1500 и 3000 об./мин, но первый из них будет работать со значительным превышением частоты тока статора (по отношению к номинальной) в верхней части диапазона, а второй — с ещё более значительным снижением частоты в нижней части диапазона. Необходимо иметь в виду, что эффективность охлаждения асинхронного двигателя общего назначения с самовентиляцией (вентилятором, установленным на валу двигателя) зависит от скорости вращения вала: чем ниже скорость вращения, тем ниже эффективность охлаждения. Следовательно, продолжительная работа в нижней части диапазона скоростей с требуемым моментом может привести к недопустимому перегреву двигателя. Можно исключить такую ситуацию и обеспечить нормальную работу привода, если при

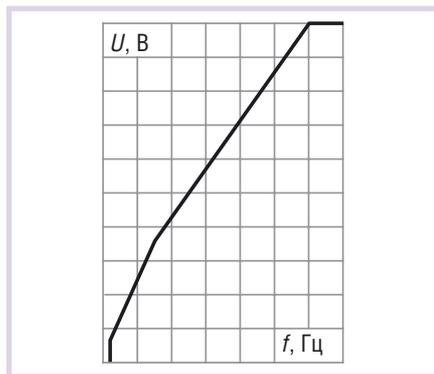


Рис. 2. Пример вольт-частотной характеристики для нагрузок, требующих большого стартового момента

выборе его мощности (как мощности двигателя, так и преобразователя) предусмотреть необходимый запас по моменту, то есть завысить расчётную мощность. Создание запаса по моменту при работе в нижней части диапазона требуется как для двигателя с синхронной скоростью 1500 об./мин, так и для двигателя с синхронной скоростью 3000 об./мин. Однако увеличение мощности для первого двигателя (1500 об./мин) будет менее значительным, так как при равных мощностях двигатель с меньшей номинальной скоростью обладает

Основные технические характеристики электропривода с преобразователем 3G3RV-A4075-E

Мощность двигателя (кВт)	7,5
Номинальный выходной ток (А)	17
Максимальная частота выходного напряжения (Гц)	400
Потребляемая мощность (Вт)	307
Диапазон регулирования скорости	1:40 — вольт-частотное управление 1:100 — векторное управление с разомкнутым контуром
Характеристика вращающего момента (Гц)	150% / 0,5
Диапазон регулирования частоты (Гц)	0,01...400
Разрешение по выходной частоте (Гц)	0,001
Максимальный ток	150% от номинального выходного тока в течение одной минуты
Время разгона/торможения (с)	0,01...6000,0
Защита двигателя	Электронное тепловое реле перегрузки
Защита от перегрузки по току	Мгновенная защита; остановка при 200% от номинального выходного тока
Защита от перегрева радиатора	Термистор
Защита контура заземления	Электронная схема, контролирующая уровень перегрузки по току

большим моментом. С этой точки зрения, второй двигатель (3000 об./мин) является менее предпочтительным. В то же время для первого двигателя запас по моменту надо обеспечивать не только в нижней, но и в верхней части диапазона регулирования. Связано это с тем, что при увеличении частоты

выше номинальной в условиях постоянства первичного напряжения будет уменьшаться магнитный поток, а следовательно, и максимальный момент двигателя. Однако при увеличении частоты эффективность отвода тепла у двигателя с самовентиляцией будет также повышаться, поскольку возрастает скорость вращения вала двигателя и установленного на нём вентилятора. Примечательно, что асинхронные двигатели допускают работу на частотах выше номинальной, при этом такие важные характеристики, как КПД и cosφ, претерпевают лишь незначительные изменения.

На рис. 1 для асинхронного двигателя с номинальной скоростью вращения  $n = 1500$  об./мин и числом пар полюсов  $2P = 2$  показана зависимость момента  $M$  от частоты  $f$ .

Необходимо также помнить, что устройства подобного класса требуют достаточно высоких коэффициентов кратности по пусковому  $k_s$  и максимальному  $k_m$  моментам. В типовых применениях, в зависимости от конкретного исполнения,  $k_s = (1...3,5)$  и  $k_m = (2...3,5)$ . Сами по себе асинхронные короткозамкнутые двигатели стандартного исполнения не обладают столь высокими пусковыми свойствами и перегрузочной способностью. На практике это достигается увеличением мощности двигателя и настройкой параметров преобразователя частоты. К таким параметрам относятся те, которые определяют:

- функцию компенсации момента;



Рис. 3. Шкаф с частотными преобразователями 3G3RV-A4075-E приводов ПСУ котлоагрегата БКЗ-210

- вольт-частотную характеристику;
- время разгона/торможения.

Функция компенсации момента позволяет увеличить выходной момент при старте и работе двигателя на низких скоростях. При её выполнении осуществляется корректировка выходного напряжения инвертора в соответствии с устанавливаемым коэффициентом компенсации.

Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при линейной пропорциональной зависимости (рис. 2). Такой вид характеристики предназна-

чен для нагрузок, требующих большого стартового момента.

Расчёты, произведённые специалистами ООО НПФ «Ракурс» с учётом изложенных рекомендаций, позволили выбрать электропривод на один ряд по мощности ниже, чем обычно предлагается другими организациями. Это дало возможность сократить затраты на приобретение асинхронного двигателя и соответствующего ему преобразователя частоты. Так, в приводах ПСУ котельного агрегата БКЗ-210 (ТЭЦ-1, ОАО «Котласский ЦБК») установлены преобразователи 3G3RV-A4075-E (или CIMR-F7Z-47P5 согласно новой маркировке) компании Omron (рис. 3). Основные технические характеристики выбранного электропривода представле-

ны в табл. 1. Практическая эксплуатация таких электроприводов подтвердила их превосходные рабочие и энергетические (преобразователь имеет встроенную функцию энергосбережения) характеристики.

При выборе преобразователей частоты для электроприводов ПСУ следует обращать внимание на следующие, наиболее критичные для данного применения характеристики:

- высокая перегрузочная способность;
- хорошо организованная система защит и предупреждений;
- возможность настройки вольт-частотной характеристики.

Другие характеристики менее критичны, но полагается, что они должны соответствовать уровню современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.

### НАЗНАЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Преобразователи частоты рекомендуют использовать совместно с дополнительными, или опциональными устройствами. Опциональные устройства в зависимости от их назначения устанавливаются как в силовые цепи преобразователя, так и в цепи управления. К устройствам, устанавливаемым в силовую цепь, относятся реакторы переменного и постоянного тока, входные и выходные фильтры, тормозные рези-

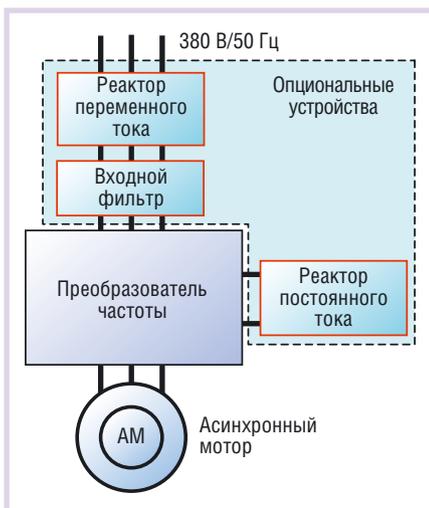


Рис. 4. Схема подключения опциональных устройств

Эффективность разных методов подавления высших гармоник с помощью реакторов

Номер гармоники		Относительное содержание гармоник, %							
		5	7	11	13	17	19	23	25
Метод подавления	Без реактора	65	41	8,5	7,7	4,3	3,1	2,6	1,8
	Реактор в цепи постоянного тока	38	14,5	7,4	3,4	3,2	1,9	1,7	1,3
	Реактор в цепи переменного тока	30	13	8,4	5	4,7	3,2	3,0	2,2
	Реакторы в цепи постоянного и переменного тока	28	9,1	7,2	4,1	3,2	2,4	1,6	1,4

шумы не оказывают вредного воздействия на другие устройства и узлы системы, фильтр можно не устанавливать.

Преобразователи частоты являются источниками гармоник, чрезмерная величина которых приводит к искажению формы огибающей напряжения промышленного источника напряжения. Это, в свою очередь, вызывает дополнительное выделение тепла и может привести к сбоям в работе оборудования. Применение реакторов, включаемых в цепи переменного и постоянного тока, позволяет подавить гармоники и сгладить резкие изменения больших токов. Одновременное использование реакторов переменного и постоянного тока способствует достижению наилучшего эффекта по воздействию на гар-

монический состав токов. Связано это с тем, что реакторы переменного и постоянного тока имеют различную эффективность подавления высших гармонических составляющих с различными номерами (табл. 2). Не стоит пренебрегать этой рекомендацией при проектировании высококачественных систем электроприводов.

В приводе ПСУ используется торможение выбегом, поэтому не требуется установка тормозных резисторов или других устройств для поглощения инерции механизма.

Управление приводом производится по традиционной схеме: задание скорости – аналоговый сигнал, задание режимов и контроль состояния – дискретные сигналы. При такой организа-

ции схемы управления не требуется введения опциональных устройств в управляющие цепи привода.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ

Кратко охарактеризуем основные результаты, полученные вследствие замены приводов постоянного тока на современный асинхронный регулируемый электропривод с частотным управлением.

1. Независимое управление каждым из трёх ПСУ котла позволяет относительно легко организовать плавное (без скачков) регулирование нагрузки котла при переходе с одной пылесистемы на другую.
2. Отсутствие необходимости установки магнитной станции или строительства помещения под тиристорный привод привело к существенному сокращению площадей, занимаемых системой управления.
3. Переход к управлению от переменного напряжения 380 В/50 Гц с отключением цепей 220 В постоянного тока разгружает аккумуляторные батареи станции и позволяет отказаться от громоздких релейных схем управления по цепям постоянного тока.
4. Внедрённые преобразователи частоты легко интегрируются в любые системы управления как низовой интеллектуальный элемент автоматики, не требуют сложных согласующих схем и обладают широким набором встроенных сервисных возможностей (контроль тока и скорости приводного двигателя, развитая система защит и т.д.).

Описанная в статье модернизация электроприводов ПСУ производилась в рамках комплексной программы автоматизации котлоагрегата. ●

**Авторы – сотрудники  
ООО НПФ «Ракурс»  
Телефон/факс:  
(812) 252-3244/5970**