

Высоковольтный частотно-регулируемый электропривод с рекуперативным торможением для мельницы-вентилятора

Иванцов В.В.

Системы пылеприготовления (СПП) с мельницами-вентиляторами находят широкое применение на котлах энергоблоков, работающих на бурых и взрывоопасных углях, а также на фрезерном топливе. С помощью мельниц-вентиляторов (М-В) производится размол топлива, сушка топлива и транспорт готовой угольной пыли к горелкам котла. При этом система пылеприготовления должна обеспечить подготовку топлива высокого качества, гарантировать экономичность процесса сжигания топлива в заданных режимах работы котла, иметь высокую надежность и экономичность при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

В настоящее время практическое применение находят системы пылеприготовления с мельницами-вентиляторами, имеющими постоянные обороты приводного вала. Однако такие системы имеют ряд недостатков, связанных с трудностями обеспечения высокого качества работы СПП при постоянных оборотах приводного вала М-В в условиях изменяющейся нагрузки котла и колебаний влажности исходного материала. Основным недостатком является несовершенство конструкции М-В как вентиляционной установки, связанное с совмещением размольной и вентиляционной функций в одном агрегате. В результате такого совмещения зависимость вентиляционной производительности М-В при постоянных оборотах приводного вала и изменении загрузки ее топливом происходит в нежелательном направлении, а именно, с увеличением расхода топлива через М-В существенно снижается вентиляционная производительность М-В, а уменьшение подаваемого топлива приводит к увеличению производительности М-В по газам. При постоянных оборотах вала М-В также затруднено регулирование сушильной производительности СПП при колебаниях влажности исходного топлива, что связано с трудностями изменения вентиляционной производительности М-В. При постоянных оборотах вала М-В дополнительно возникает проблема обеспечения работы котла с максимальным числом СПП для повышения экономичности при регулировании производительности котла. Устранить эти недостатки можно путем регулирования вентиляционной производительности М-В за счет изменения оборотов приводного вала М-В, а также путем изменения температуры сушильного агента за счет дросселирования всасывающего и напорного пылепроводов. Регулирование вентиляционной производительности М-В за счет регулирования оборотов в настоящее время не применяют из-за малой глубины регулирования подачи сушильного агента, ограниченной минимально допустимой скоростью аэросмеси в пылепроводе, и ухудшения размола топлива при снижении скорости колеса М-В, а используют дросселирование потока аэросмеси. Немаловажной причиной отказа от регулирования производительности М-В путем изменения оборотов приводного вала является высокая стоимость систем регулирования скорости приводных высоковольтных электродвигателей М-В. При этом известно (Волковинский В.А., Роддатис К.Ф., Толчинский Е.Н. Системы пылеприготовления с мельницами-вентиляторами. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 272 с.: ил.), что наибольшей глубины регулирования СПП с М-В и наилучших технико-экономических показателей можно достичь при одновременном использовании обоих способов регулирования: вентиляционной производительности М-В за счет изменения оборотов приводного вала и температуры сушильного агента за счет дросселирования. Поэтому поиск относительно недорогих способов регулирования вентиляционной производительности М-В путем регулирования оборотов приводного вала М-В является весьма актуальным.

При выборе электропривода для мельницы-вентилятора необходимо учитывать, что системы пылеприготовления с мельницами-вентиляторами относятся к взрывоопасным

установкам и на них распространяются требования «Инструкции по обеспечению взрывобезопасности топливоподач и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива» (СО 153-34.03.352-2003). Согласно п.п. 3.4.11 «Инструкции» для снижения времени выбега роторов М-В, характеризующихся большим моментом инерции, их электроприводы должны оснащаться устройствами электродинамического торможения, обеспечивающими быстрый останов ротора мельницы-вентилятора при возникновении опасности взрыва угольной пыли. Большие значения момента инерции М-В также существенно увеличивают время пуска М-В и приводят к необходимости обеспечения высоких значений пускового момента приводного электродвигателя. В этих условиях становится малоэффективным использование тиристорных устройств плавного пуска и электродинамического торможения высоковольтных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

В данной статье рассмотрен относительно недорогой вариант регулирования вентиляционной производительности мельниц-вентиляторов производства Сызранского завода тяжелого машиностроения (ОАО «Тяжмаш») за счет изменения оборотов приводного вала с помощью частотно-регулируемого электропривода с высоковольтными асинхронными электродвигателями с фазным ротором и преобразователями частоты типа «ЭРАТОН-ФР» производства ЗАО «ЭРАСИБ».

В Таблице 1 приведены основные параметры мельниц-вентиляторов производства ОАО «Тяжмаш» (г. Сызрань), а также тип и параметры высоковольтных асинхронных электродвигателей с фазным ротором (АД ФР), которые можно использовать в качестве приводных электродвигателей М-В.

Таблица 1

Тип и параметры мельницы-вентилятора производства ОАО «Тяжмаш» г. Сызрань							
Параметры М-В	МВ 1600/ 400/ 980	МВ 2120/ 600/ 740	МВ 2700/ 650/ 590	МВ 2700/ 800/ 590	МВ 3300/ 700/ 490	МВ 3300/ 800/ 490	МВ 3400/ 900/ 490
Диаметр ротора, мм	1600	2120	2700	2700	3300	3300	3400
Ширина мелющей лопатки, мм	400	600	650	800	700	800	900
Частота вращения ротора, об/мин	980	740	590	590	490	490	490
Маховый момент ротора, GD^2 , кг·м ²		13360	37278			75600	76200
Мощность электродвигателя, кВт	315	400	630	630	800	1000	1000
Тип и параметры приводных асинхронных электродвигателей с фазным ротором (АД ФР)							
Параметры АД ФР	АКЗ-12-39-6	АКЗ-13-42-8	АКН2-15-57-10		АКН2-16-57-12	АКН2-17-48-12	
Скорость, об/мин	985	740	590		490	495	
Мощность, кВт	320	400	630		800	1000	
КПД, %	92,5	92,9	94,5		94,3	94,6	
Номинальный момент, Нм	3100	5160	10200		15600	19300	
Перегр. способность	2,3	2,0	2,3		2,4	2,3	
ЭДС ротора, В	560	600	850		990	1060	
Ток ротора, А	355	415	440		480	560	

Для регулирования скорости электродвигателей с фазным ротором предлагается использовать частотно-регулируемые электроприводы на базе преобразователей частоты типа «ЭРАТОН-ФР» производства ЗАО «ЭРАСИБ», которые осуществляют частотное регулирование скорости электродвигателя по цепи ротора. Преобразователь частоты типа «ЭРАТОН-ФР» представляет собой реверсивный транзисторный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией, который устанавливается между цепью ротора и питающей сетью 0,4 кВ 50 Гц (непосредственно), или 6 кВ 50 Гц (через согласующий трансформатор). Однолинейные структурные схемы электропривода с АД ФР и преобразователем частоты «ЭРАТОН-ФР» показаны на рис. 1.

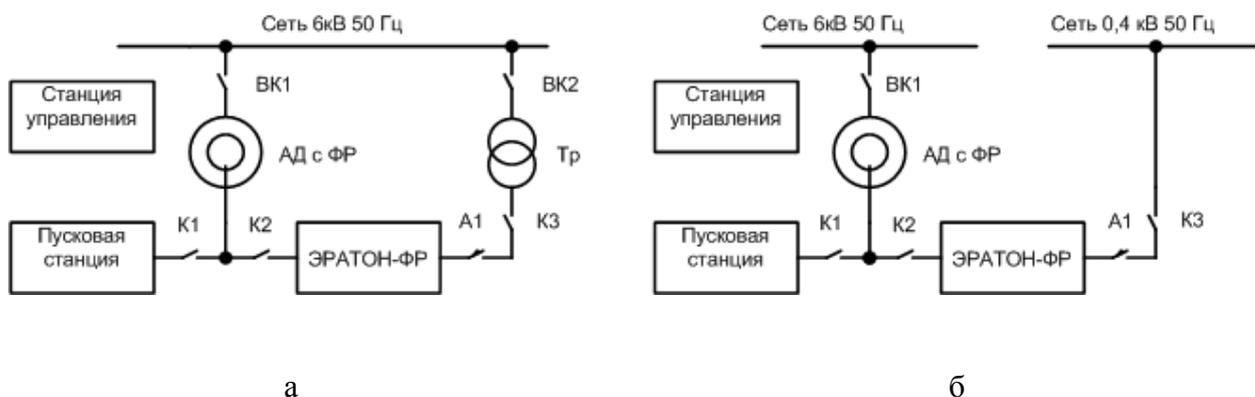


Рис. 1. Однолинейные структурные схемы электропривода с АД ФР и «ЭРАТОН-ФР»

Силовая схема преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР» состоит из трехфазного мостового транзисторного инвертора напряжения, через силовой фильтр или трехфазный дроссель подключенного к выводам фаз обмотки ротора (контактным кольцам) двигателя, емкостного фильтра и трехфазного транзисторного активного выпрямителя напряжения (рекуператора). Активный выпрямитель (рекуператор) через трехфазный дроссель или «синусный» LC-фильтр подключается к вторичной обмотке согласующего трансформатора. Пример силовой схемы преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР» для электродвигателя с напряжением ротора до 600В показан на рис. 2. Для напряжения ротора более 600В используются более сложные силовые схемы преобразователя частоты на базе H-мостов.

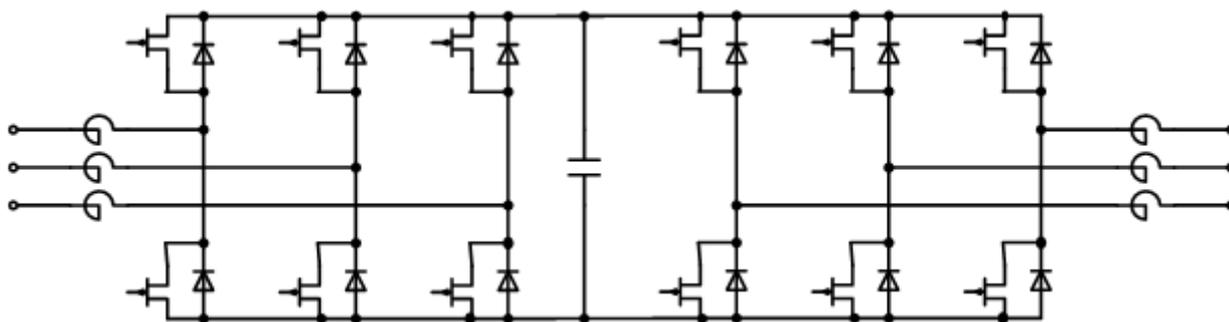


Рис. 2. Силовая схема преобразователя частоты «ЭРАТОН-ФР» для электродвигателя с напряжением ротора до 600В

Реверсивный транзисторный инвертор «ЭРАТОН-ФР» обеспечивает двухсторонний обмен энергией между цепью ротора электродвигателя и питающей сетью путем введения регулируемой ЭДС в цепь ротора. За счет регулирования величины и направления потока активной мощности в цепи ротора осуществляется регулирование величины и знака момента и скорости вала электродвигателя в широком диапазоне. Диапазон регулирования момента и скорости вала электродвигателя с инвертором «ЭРАТОН-ФР» в цепи ротора ограничен только предельно-допустимыми параметрами электродвигателя. При регулировании скорости в двигательном режиме преобразователи частоты «ЭРАТОН-ФР»

обеспечивают возврат мощности скольжения из ротора асинхронного электродвигателя в питающую сеть. За счет этого из питающей сети потребляется только мощность, отдаваемая на вал электродвигателя, что обеспечивает значительную экономию электроэнергии при пуске и регулировании скорости асинхронных электродвигателей с фазным ротором по сравнению с введением сопротивления в цепь ротора.

В динамических режимах электропривод с инвертором «ЭРАТОН-ФР» может развивать высокий момент на валу электродвигателя (до 200% номинального) как в двигательном режиме, так и в режиме торможения. Большие значения момента электродвигателя позволяют осуществлять плавный пуск механизма с высоким моментом инерции за минимальное время при ограничении тока статора электродвигателя на заданном уровне (не более 200% номинального тока). При необходимости торможения механизма за минимальное время преобразователь частоты «ЭРАТОН-ФР» изменяет направление потока активной мощности в цепи ротора, что приводит к изменению знака момента электродвигателя и переводу электродвигателя в режим рекуперативного торможения с возвратом энергии вращающихся масс механизма в питающую сеть. При этом за счет создания высокого тормозного момента электродвигателем осуществляется рекуперативное торможение мельницы-вентилятора за минимальное время без дополнительных устройств электродинамического торможения.

При модернизации действующих электроприводов с электродвигателями с фазным ротором резисторно-контакторная пусковая станция может быть сохранена в качестве резервной (рис. 1). Во время работы инвертора «ЭРАТОН-ФР» пусковая станция отключается контактором. При этом пусковая станция резервируется в рабочем состоянии и может быть включена в любой момент времени для пуска и регулирования скорости электродвигателя, что повышает надежность электропривода.

Таким образом, частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭП) с электродвигателем с фазным ротором (АД ФР) и преобразователем частоты типа «ЭРАТОН-ФР» может обеспечить плавный пуск М-В с ограничением тока электродвигателя на заданном уровне, плавное регулирование оборотов вала М-В и рекуперативное торможение с возвратом кинетической энергии вращающихся масс ротора М-В в питающую сеть с заданным тормозным моментом за минимальное время без дополнительных устройств электродинамического торможения.

Как отмечалось выше, одним из ограничений на применение регулируемого электропривода мельниц-вентиляторов является высокая стоимость пускорегулирующей аппаратуры для высоковольтных электродвигателей. С этой точки зрения частотно-регулируемый электропривод с АД ФР и преобразователем частоты «ЭРАТОН-ФР» в цепи ротора имеет существенные преимущества по сравнению с электроприводом на базе высоковольтных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и высоковольтным преобразователем частоты в статоре электродвигателя. Как видно из анализа параметров цепи ротора асинхронных двигателей для мельниц-вентиляторов (Таблица 1), напряжение между кольцами АД ФР не превышает 1100 В, а ток ротора не превышает 560 А. С учетом этих особенностей преобразователь частоты в цепи ротора АД ФР может быть выполнен на низковольтных транзисторах с минимальным количеством транзисторно-диодных ячеек и стоимость такого преобразователя может быть существенно ниже стоимости преобразователя частоты в цепи статора высоковольтного электродвигателя.

В Таблице 2 приведены данные о стоимости преобразователей частоты типа «ЭРАТОН-ФР» для управления высоковольтными асинхронными электродвигателями с фазным ротором, которые можно использовать в качестве приводных электродвигателей мельниц-вентиляторов производства ОАО «Тяжмаш» (Таблица 1). Цены даны без учета НДС для структурной схемы электропривода, изображенной на Рис. 1. а. В данном варианте мощность скольжения ротора АД ФР в двигательном режиме работы электропривода возвращается в высоковольтную сеть 6 кВ 50 Гц через согласующий трансформатор. Цены в Таблице 2 указаны с учетом стоимости согласующего трансформатора «сухого» типа. Электропривод с преобразователями частоты «ЭРАТОН-ФР-XXX-2» может обеспечить

плавное регулирование скорости М-В в диапазоне 50:1 без датчика положения вала электродвигателя. В динамических режимах пуска и рекуперативного торможения электропривод с преобразователем частоты «ЭРАТОН-ФР-XXX-2» может обеспечить перегрузку по моменту $K_{\text{пм}} = 1,5$ относительно номинального момента электродвигателя. При этом время торможения М-В от номинальной скорости до полной остановки при возникновении взрывоопасной ситуации не будет превышать значений, указанных в Таблице 2.

Таблица 2

Тип М-В	МВ 1600/ 400/ 980	МВ 2120/ 600/ 740	МВ 2700/ 650/ 590	МВ 2700/ 800/ 590	МВ 3300/ 700/ 490	МВ 3300/ 800/ 490	МВ 3400/ 900/ 490
Частота вращения ротора, об/мин	980	740	590		490	490	
Мощность электродвигателя, кВт	315	400	630		800	1000	
Тип электродвигателя	АКЗ-12-39-6	АКЗ-13-42-8	АКН2-15-57-10		АКН2-16-57-12	АКН2-17-48-12	
Тип преобразователя частоты	ЭРАТОН-ФР-320-2	ЭРАТОН-ФР-400-2	ЭРАТОН-ФР-630-2		ЭРАТОН-ФР-800-2	ЭРАТОН-ФР-1000-2	
Цена ПЧ «ЭРАТОН-ФР» без НДС, тыс. руб.	2650	3035	4090		4965	5610	
Время торможения М-В, сек.	8	8	8	8	8	8	8

Таким образом, частотно-регулируемый электропривод с электродвигателем с фазным ротором и преобразователем частоты типа «ЭРАТОН-ФР-XXX-2» может обеспечить плавный пуск мельниц-вентиляторов с ограничением тока электродвигателя на уровне 150% номинального тока электродвигателя, плавное регулирование оборотов вала М-В в требуемом диапазоне (до 50:1) и рекуперативное торможение с возвратом кинетической энергии вращающихся масс ротора М-В в питающую сеть с тормозным моментом 150% относительно номинального момента электродвигателя за минимальное время не более 8 (восьми) секунд без дополнительных устройств электродинамического торможения, что определяет перспективность использования данного типа электропривода для регулирования вентиляционной производительности мельниц-вентиляторов.