

СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГМК

Г.Г. Пивняк, В.И. Кириченко, В.В. Кириченко, В.В. Барабан

Национальный горный университет

Проблемы мельничных приводов. Основными потребителями электроэнергии предприятий ГМК являются синхронные двигатели привода барабанных мельниц горно-обогатительных комбинатов (ГОК). Вследствие трудностей определения полезной мощности мельниц и неодинаковых условий их использования при измельчении различных материалов, проблем надежности пуска двигателей в условиях слабых сетей и при использовании реактора коэффициент запаса установленной мощности привода нередко 1,15...1,3 [1], что завышает стоимость привода и использование двигателя с КПД ниже номинального. Другая важная причина недоиспользования двигателя по мощности является технологической. Это проблема обеспечения успешного запуска после перерыва в работе мельницы, поскольку при этом ее загрузка слеживается и фактически составляет единое целое с барабаном. К моменту обрушения загрузки барабан необходимо повернуть на угол около 90°, что требует повышенного момента двигателя при пуске. При неблагоприятных условиях успешный запуск мельницы вообще становится проблематичным. А поэтому на производстве этот режим не допускают и перед остановкой мельницы ее частично разгружают за счет работы мельницы без подачи исходного питания в течении около получаса. Это приводит к соответствующим экономическим потерями из-за снижения производительности и КПД привода. Эти же потери и за время вывода мельницы на установившейся режим после перерыва в работе. К проблемам мельничных приво-

дов следует отнести также трудности синхронизации и ресинхронизации при недостаточном запасе установленной мощности привода, высокие коэффициенты динамичности для электромагнитного и упругого моментов привода, продолжительный пуск и ограниченное количество пусков подряд и др. И хотя заводы-производители крупных синхронных двигателей декларируют обеспечение успешного запуска привода с номинальной нагрузкой и максимально допустимым присоединенным моментом инерции, на практике это часто не обеспечивается.

Задачи усовершенствования синхронных приводов. На основе выше изложенного можно заключить, что для снижения стоимости мельничного привода и обеспечения его экономичности и мельницы в целом в процессе эксплуатации необходимо гарантированно обеспечить успешный запуск мельничных приводов с минимальным запасом установленной мощности двигателей с номинальной и повышенной нагрузкой при максимально допустимом снижении напряжения на двигателе и ограничении динамичных нагрузок элементов электромеханической системы допустимым уровнем. Необходимо разработать пути и средства для увеличения пускового момента двигателя в условиях максимально допустимого снижения напряжения на статоре, обеспечить при этом достаточный избыточный момент на всем участке разгона с номинальной нагрузкой за минимальное время, создать условия для плавного разгона до синхронной скорости при одновременном ограничении динамических нагрузок элементов электромеханической системы и увеличить допустимое количество пусков подряд при ограничении нагрева обмоток.

Пути улучшения формы пусковых характеристик. В соответствие поставленным задачам усовершенствования мощных синхронных электроприводов барабанных мельниц рассмотрим особенности и возможные пути решения поставленных задач. При этом принимаем общепринятые при описании синхронных двигателей допущения [2], а также допущение о стабильности напряжения на обмотке статора и параметров двигателя в течении все-

го времени пуска. Рассмотрим отдельно особенности и пути обеспечения требуемых моментов двигателя в области больших и малых скольжений.

Область больших скольжений. Требования к пусковому моменту синхронного двигателя определяются на основе анализа формы механической характеристики конкретного производственного механизма, в том числе с учетом динамики процесса пуска. При этом учитываются требования ко входному моменту и уровень снижения напряжения питания двигателя относительно номинального [3]. Для исключения провала пусковой механической характеристики при скольжении $s=0,5$ величину разрядного сопротивления в цепи возбуждения обычно выбирают 5...10 кратной или меньше по отношению к собственному активному сопротивлению обмотки возбуждения. В заводских расчетах обычно используют сопротивление обмоток ненагретого двигателя. И это оправдано, поскольку с точки зрения возможностей обеспечения требуемой кратности пускового момента двигателя при первом пуске это наихудшие условия. В качестве примера на рис. 1 приведена расчетная форма механической пусковой характеристики серийного двигателя СДМЗ-2-24-59-80 УХЛ4 номинальной мощностью 4 МВт, разрядным сопротивлением 1,6 Ом и номинальном напряжении питания (кривая 1).

Видно, что расчетные кратности пускового и входного моментов соответствуют паспортным (для наглядности рис. 1 разделен на две части – рис. 1а отображает механические характеристики в области скольжений 0...0,25, а рис. 1б – 0,25...1). При допустимом (15%) стабильном снижении напряжения на двигателе во время пуска форма пусковой характеристики существенно ухудшается (кривая 2 на рис. 1), а кратности пускового и входного моментов снижаются на 28%, что для тяжелых условий пуска с номинальной или большей нагрузкой неприемлемо. В известной работе [4] проблему сохранения кратности пускового момента при понижении напряжения питания предложено решать путем усиления пусковой обмотки двигателя. Полученная таким образом расчетная форма характеристики представлена кривой 3 на рис. 1. Видно, что при снижении уровня питающего напряжения на 15% уси-

ление (увеличение ее активных сопротивлений) пусковой обмотки в 1,38 раза практически обеспечило паспортную кратность пускового момента.

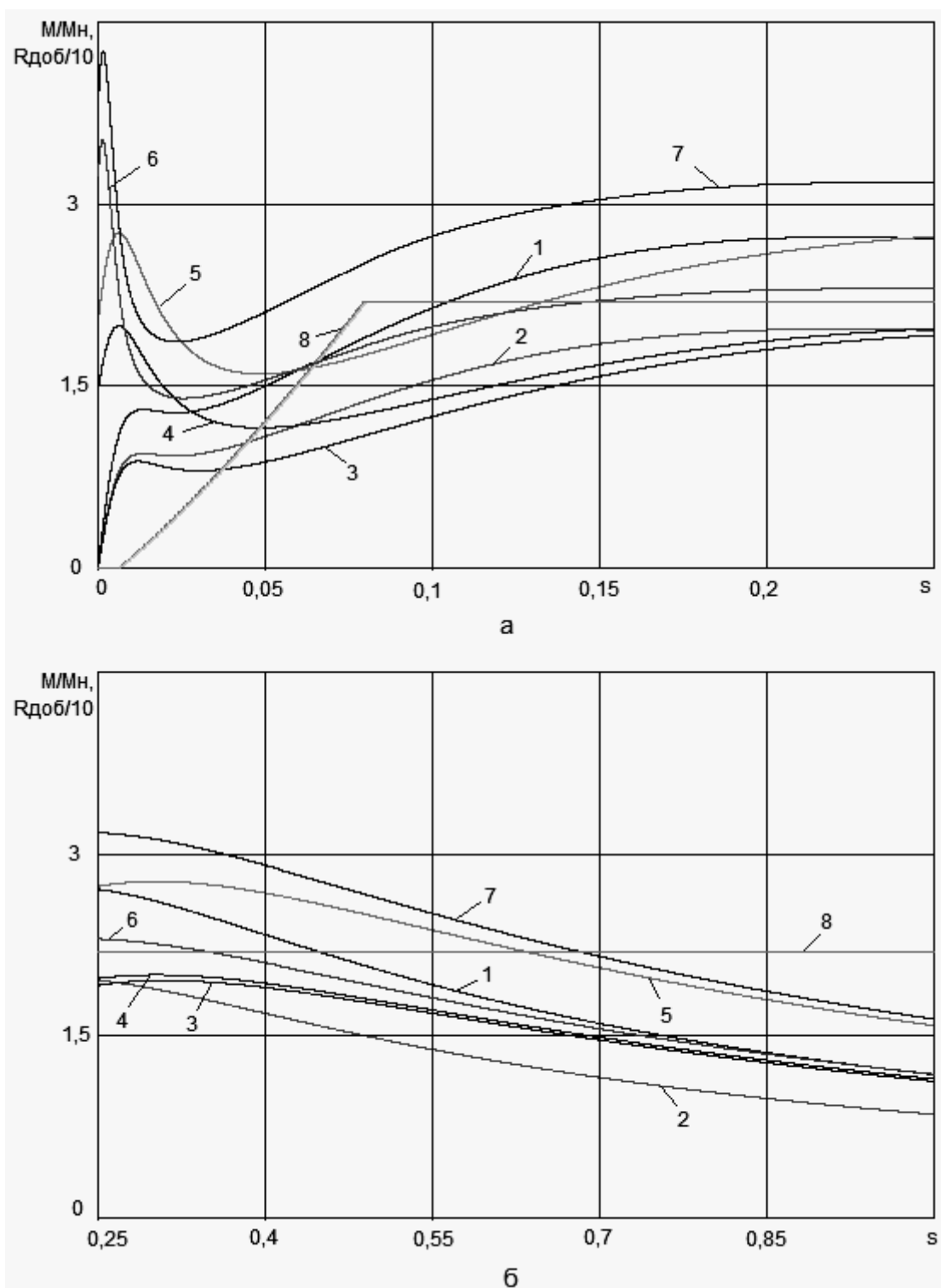


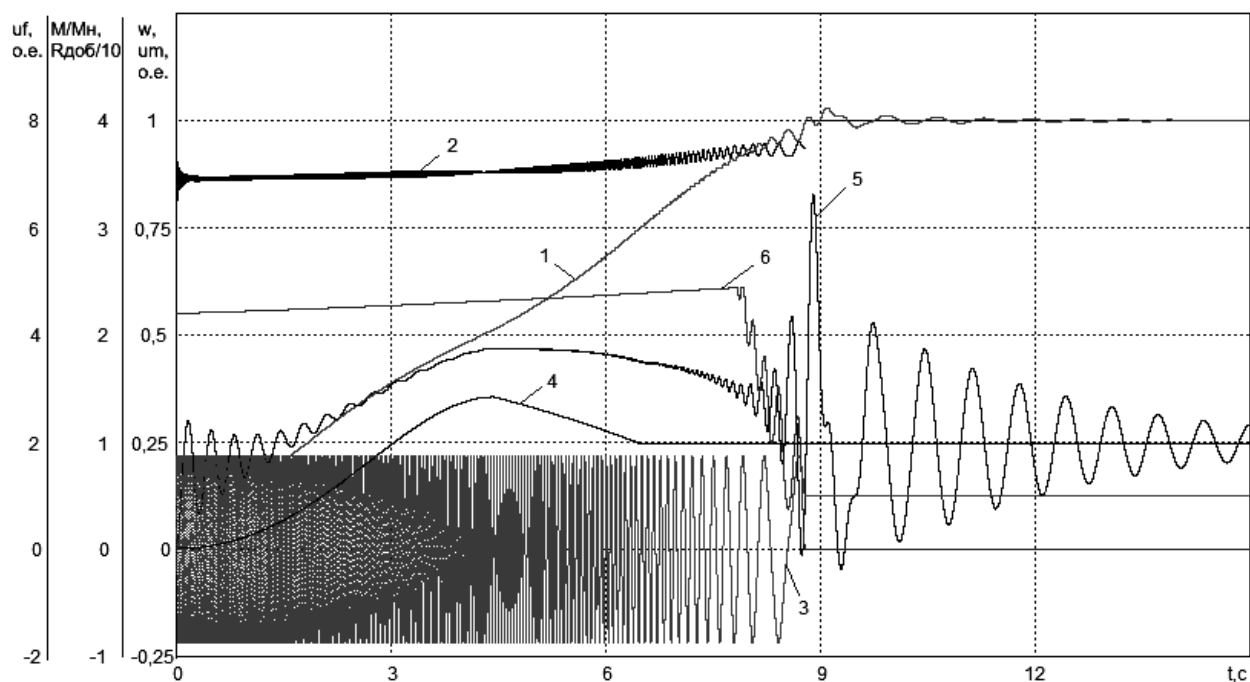
Рис. 1. Расчетная форма пусковых механических характеристик синхронного двигателя СДМЗ-2-24-59-80 УХЛ4

Область малых скольжений. Использование усиленной пусковой обмотки при заводском разрядном сопротивлении 1,6 Ом в цепи возбуждения при пониженном на 15% напряжении питания привело к снижению асинхронных моментов в области скольжений ниже 0,33 (см. рис. 1а). При этом кратность входного момента двигателя стала еще меньшей по сравнению с кратностью для серийного двигателя при таком понижении напряжения. Таким образом, надежное решение проблемы обеспечения требуемой кратности пускового момента выбранным путем отрицательно сказалось на возможностях поддержки заданного уровня асинхронных моментов в области малых скольжений. А поскольку при этом в наихудшем случае обмотки двигателя и разрядное сопротивление уже максимально нагреты, то при определении асинхронных моментов в области малых скольжений следует учитывать активные сопротивления нагретых обмоток. Очевидна необходимость поиска дополнительных путей увеличения моментов. В частности, для решения этой задачи целесообразно использовать питание обмотки возбуждения от источника переменного напряжения частоты скольжения с начальной фазой минус $\pi/2$ [1]. Эффективность использования такого решения иллюстрирует кривая 4 на рис. 1. При ее построении учтено, что коэффициент форсирования реверсивного возбудителя равен 1,75, а разрядное сопротивление – 1,6 Ом. Видно, что при скольжении $s=0$ кратность момента двигателя при этом составляет 1,5. А это означает, что двигатель плавно разгонится до синхронной скорости без использования традиционного процесса синхронизации с соответствующими динамическими нагрузками электромеханической системы. И это при сниженном на 15% напряжении на всем участке разгона (практически за счет снижения тока статора оно будет меньшим). Очевидно, что при номинальном напряжении питания форма пусковой характеристики существенно лучше (кривая 5 на рис. 1) и обеспечивает значительное сокращение продолжительности пуска. Кроме того, имеется реальная возможность и увеличения количества пусков подряд.

Оптимизация разрядного сопротивления. Известно о влиянии разрядного сопротивления на форму пусковых механических характеристик синхронных двигателей [5]. В частности, его увеличение приводит к росту кратности пускового момента и снижению входного. Поэтому, на начальном участке пуска следует выбирать максимально допустимую (например, по условию ограничения напряжения на обмотке возбуждения или из экономических соображений) кратность разрядного сопротивления, а на конечном участке в области малых скольжений – требуемую из соображений обеспечения максимума среднего асинхронного момента. То есть, желательно, чтобы разрядное сопротивление изменялось в функции скольжения. Для подтверждения правильности этого вывода на рис. 1 приведена кривая 6 асинхронного момента при одновременном использовании усиленной в 1,38 раза пусковой обмотки, реверсивного возбудителя и регулируемого оптимальным образом разрядного сопротивления 22 Ом. Видно, что даже при сниженном на 15% напряжении это улучшило форму механической характеристики на всем диапазоне скольжений (от $s=0$ до $s=1$). При этом напряжение на обмотке возбуждения ограничено уровнем 6 кВ. Очевидно, при номинальном напряжении питания двигателя механическая характеристика двигателя с усиленной пусковой обмоткой, реверсивным возбудителем и регулируемым разрядным сопротивлением (кривая 7 на рис. 1) качественно лучше чем характеристика серийного двигателя. Регулированное разрядное сопротивление показано на рис.1, кривая 8.

Пуск мельницы ММС-90х30. В качестве примера эффективности использования нового синхронного привода с улучшенными свойствами, на рис. 2 приведены расчетные зависимости скорости 1, напряжения статора 2, напряжения реверсивного возбудителя 3, статического момента 4 и упругого момента 5 и регулируемого разрядного сопротивления 6 в цепи возбуждения двигателя СДМЗ-2-24-59-80 УХЛ4 мельницы самоизмельчения ММС-90х30. Рассмотрен наиболее тяжелый процесс пуска при слежавшейся загрузке ба-

рабана после длительного перерыва в работе мельницы. Также принято, что в установившемся режиме момент нагрузки номинальный (двигатель без запа-



1 – скорость двигателя; 2 – напряжение статора; 3 – напряжение возбудителя; 4 – статический момент; 5 – упругий момент; 6 – сопротивление регулируемого разрядного сопротивления

Рис. 2. Процесс тяжелого пуска двигателя с усиленной пусковой обмоткой, регулируемым разрядным сопротивлением и программным управлением возбудителем с коэффициентом форсирования напряжения 1,75

са мощности). Учтены влияние пускового реактора на напряжение питания двигателя и нагрева двигателя на активные сопротивления обмоток. Рассмотрен процесс первого пуска из холодного состояния. Видно, что даже для этих условий пуск двигателя успешный, а время разгона составило всего 8,8 с. Коэффициент динамичности упругого момента для такого тяжелого пуска составил 3,3. Причем это без запаса установленной мощности привода.

Таким образом, можно сделать достаточно обоснованный вывод, что использование в приводе мельницы синхронного двигателя без запаса мощ-

ности, с усиленной пусковой обмоткой, максимальным по величине регулируемым разрядным сопротивлением в цепи возбуждения и программно управляемым реверсивным возбудителем надежно обеспечивает пуск крупных синхронных мельничных приводов с номинальной нагрузкой и тяжелыми условиями вследствие слежавшейся загрузки барабана (то есть, для условий, когда мельницу перед остановкой «выхаживают», а после перерыва в работе – «разгоняют» до достижения установившегося режима). При этом эффект достигнут без повышения коэффициента форсирования напряжения реверсивного возбудителя.

Создание и промышленное использование комплектных электроприводов предлагаемого типа исключает необходимость в запасе установленной мощности привода и надежно обеспечивает разгон даже для тяжелых условий пуска при слежавшейся загрузке барабана мельницы и пониженном напряжении питания двигателя. Экономические преимущества – от снижения стоимости приводного двигателя за счет уменьшения его мощности и экономии электроэнергии за счет работы двигателя с номинальным коэффициентом полезного действия, исключения непроизводительных режимов «выхаживания» и «разгона» мельницы. Использование двигателя с коэффициентом мощности 1 позволяет дополнительно увеличить его мощность в установившемся режиме работы мельницы при сохранении теплового режима обмоток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Г.Г. Півняк, В.І. Кириченко, В.В. Кириченко, Р.О. Боровик.** Комплектний синхронний електропривод з програмним керуванням / Доповіді Національної академії наук України, 2007, №7. – С.93-97.
2. **Павлюк К., Беднарк С.** Пуск и асинхронные режимы синхронных двигателей.–М.: Энергия, 1971.–270 с.
3. **Кириченко В.В., Боровик Р.О., Барабан В.В.** Дослідження впливу розрядного опору на ефективність програмного керування синхронним приводом // Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода.

Теорія і практика" науково-технічного журналу "ЕЛЕКТРОІНФОРМ". – 2009. – С. 384-385.

4. **Півняк Г.Г., Кириченко В.І., Кириченко В.В.** Перспективи удосконалення потужних синхронних приводів. / Доповіді національної академії наук України. Математика, природознавство, технічні науки. – 2009, – №9. – С. 97-102.

5. **Бабурин В.Б., Сумцов И.А.** О повышении продольного электромагнитного момента машин переменного тока в асинхронном режиме // Труды ВНИИЭ – вып 57. – М.: Энергия, 1979. – С. 65-71.