

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ МОЩНЫХ СИНХРОННЫХ ПРИВОДОВ С ТЯЖЕЛЫМ ПУСКОМ

Введение. Среди современных направлений улучшения пусковых свойств синхронных двигателей приводов горных машин с тяжелым пуском перспективным является повышение степени использования обмотки возбуждения в асинхронных режимах. Для этого, в частности, предлагается увеличить ее коэффициент мощности путем создания условий для возникновения в ней резонансных явлений. Так, замыкание обмотки возбуждения двигателя СДМЗ-18-49-20-УХЛ4 на конденсатор соответствующей емкости увеличивает пусковой момент более чем в 7 раз, однако при этом напряжение на обмотке многократно превышает допустимый уровень. Практически осуществимый вариант – использование расщепленной обмотки возбуждения, у которой на каждом полюсе установлено две катушки с шунтирующим конденсатором [1] (рис.1). При этом емкость конденсатора

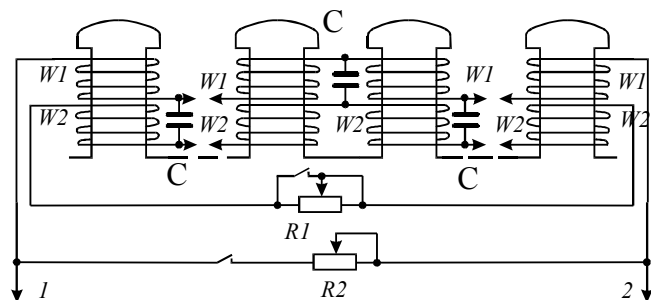


Рис.1. Схема системы возбуждения с расщепленной обмоткой:

W1, W2 – верхние и нижние полукатушки;

R1, R2 – разрядные резисторы;

C – конденсаторы;

1, 2 – точки подведения питания

определяет положение максимума зоны резонансного увеличения асинхронного момента вдоль оси скольжения. Требуемая форма пусковой характеристики принципиально может быть обеспечена изменением емкости полюсных конденсаторов в функции скольжения, однако технически это трудно осуществить. Более рационален способ получения приближенной формы механической характеристики путем использования конденсаторов одинаковой емкости в отдельных, последовательно соединенных группах, причем емкость конденсаторов отдельных групп различна [2]. Сущность такого решения в том, что каждая из групп (с отличающейся емкостью конденсаторов) имеет свое скольжение, при котором возникает резонансный режим. Поскольку реактивные сопротивления катушек и конденсаторов зависят от частоты протекающих

по ним токов, то соответствующим выбором емкости конденсаторов отдельных групп можно обеспечить возникновение резонансных эффектов при различных скольжениях. Таким образом, можно приближенно обеспечить желаемую форму пусковой механической характеристики.

Постановка задачи исследования. Основная цель исследований – обоснование рациональных параметров и пусковых свойств синхронного двигателя с расщепленной обмоткой возбуждения для улучшения пусковых свойств, надежности и экономичности привода горных машин с тяжелым пуском. В процессе выполнения работы поставлены и решены следующие задачи:

- обосновать критерии выбора емкости и количества полюсных конденсаторов в группах полюсов;
- выполнить оценку динамики пуска и тепловой нагрузки на обмотки двигателя;
- произвести оценочный расчет экономического эффекта от использования разработки.

Материалы исследований. Конденсаторные группы при совместной работе оказывают влияние друг на друга, что проявляется в смещении максимумов пусковой характеристики при изменении емкости конденсаторов одной из групп. В связи с этим раздельное определение емкости конденсаторных групп путем расчета для фиксированных скольжений является весьма сложным. В связи с этим, нами предлагается следующая инженерная методика определения емкости конденсаторных групп, которая содержит несколько этапов.

На первом этапе для скольжения $s=1$ определяется емкость $\tilde{N}_{\delta\dot{a}\dot{c}}$ конденсатора, подключенного к зажимам обмотки возбуждения, обеспечивающая резонанс напряжений в цепи традиционной обмотки возбуждения:

$$\tilde{N}_{\delta\dot{a}\dot{c}} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{fs}} = \frac{m_{zf}}{(2\pi f) x_{fs} Z_a}, \Phi. \quad (1)$$

На втором этапе полученная таким образом емкость конденсатора используется в качестве предварительной для определения емкости одинаковых полюсных конденсаторов, обеспечивающих наибольший пусковой момент двигателя. Уточнение емкости производится при помощи полной схемы замещения двигателя.

На последующем этапе с учетом механической характеристики конкретного механизма и напряжения питающей сети во время пуска выбирается желаемая форма пусковой механической характеристики двигателя и допустимые границы отличия от нее.

Заключительный этап определения емкости конденсаторов неодинаковых полюсных групп – решение опти-

мизационной задачи путем использования стандартной функции Minimize пакета Mathcad. При этом в качестве интегрального критерия используется несмещенное стандартное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (M_{\text{зад}}(s) - M_{\text{пол}}(s))^2}{n-1}} \quad (2)$$

расчетной механической характеристики от желаемой, которое в результате оптимизации должно быть минимальным. Здесь $M_{\text{зад}}(s)$ – желаемая пусковая характеристика, о.е.; $M_{\text{пол}}(s)$ – получаемая пусковая характеристика, о.е.; n – количество измерений в заданной зоне скольжений.

Область зоны скольжений, для которых производится оптимизация формы механической характеристики, определяется на основе конкретных требований, предъявляемых со стороны механизма. Искомые емкости конденсаторов отдельных групп определяются в виде произведения уточненного значения емкости $\tilde{N}_{\text{дв}}^{\text{дв}}$ на коэффициенты k_1, \dots, k_n , получаемые при решении оптимизационной задачи.

В результате использования стандартной функции Minimize пакета Mathcad при известном количестве неодинаковых конденсаторных групп определяется рациональное количество полюсов каждой из них и емкость установленных в них конденсаторов. При использовании функции Minimize исходные значения коэффициентов k_1, \dots, k_n можно принять равными 1, а за первоначальную емкость полюсных конденсаторов – уточненное значение емкости $\tilde{N}_{\text{дв}}^{\text{дв}}$. В качестве ограничений принимаются условия:

- коэффициенты k_1, \dots, k_n , полученные в результате оптимизации, положительные либо равны нулю;
- пусковой момент искусственной характеристики не должен быть меньше желаемого;
- количество полюсов в каждой из групп не менее 1;
- количество полюсов всех групп равно количеству полюсов двигателя.

Известно о трудностях пуска приводных синхронных двигателей крупного измельчительного оборудования. Среди основных причин этого – пониженный уровень напряжения сети во время пуска двигателя, отрицательно влияющего на моменты его пусковой механической характеристики. Обычно этот недостаток компенсируют увеличением коэффициента запаса установленной мощности двигателя, что снижает его КПД в установившемся режиме. Использование новой системы возбуждения двигателя и соответствующий выбор желаемой формы пусковой механической характеристики позволяют осуществить его успешный запуск с номинальной нагрузкой даже при пониженном напряжении питающей сети. С учетом допустимого уровня снижения напряжения сети ΔU желаемый пусковой момент определяем как

$$M_{\text{зад}} = M_{\text{т}} \left(\frac{1}{1 - \Delta U} \right)^2, \text{ о.е.}, \quad (3)$$

причем он не должен быть меньше паспортного пускового момента $M_{\text{т}}$.

Пусковой момент двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 номинальной мощностью 4 МВт равен 1. Для успешного пуска двигателя с номинальной нагрузкой при пониженном на $\Delta U = 0,15$ напряжении сети моменты его механической характеристики не должны быть меньше 1, а при номинальном напряжении кратность желаемого пускового момента не должна быть ниже 1,4. С учетом запаса принимаем, что при номинальном напряжении сети кратность пускового момента двигателя

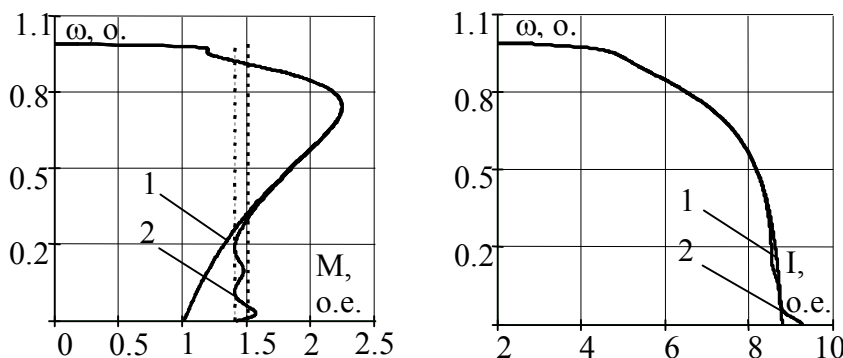


Рис.2. Электромеханические характеристики серийного двигателя (1) СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 и с новой обмоткой возбуждения (2)

при номинальном напряжении сети кратность пускового момента двигателя $\dot{I}_{\text{дв}} = 1,5$.

Эффективность предложенного метода выбора емкости конденсаторов и их количества в каждой группе при количестве групп 5 проверена на примере приводного синхронного двигателя мельницы самоизмельчения ММС-90х30 типа СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4. Графическая иллюстрация результатов расчетов – на рис.2.

Видно, что при номинальном напряжении сети полученная форма механической характеристики двигателя соответствует поставленным требованиям. При этом несмещенное стандартное отклонение полученной характеристики от заданной равно 0,281, а отклонения момента находятся в пределах выбранных границ. Пусковой ток нового двигателя мало отличается от пускового тока

этом несмещенное стандартное отклонение полученной характеристики от заданной равно 0,281, а отклонения момента находятся в пределах выбранных границ. Пусковой ток нового двигателя мало отличается от пускового тока

серийного.

Начальный участок прямого пуска синхронного привода при неблагоприятных параметрах передаточного механизма сопровождается значительным размахом колебаний электромагнитного момента, отрицательно влияющих на надежность двигателя. Для их оценки при новой системе возбуждения двигателя в качестве примера исследованы динамические нагрузки при пуске синхронного двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4.

Для сравнительной оценки исследованы двигатели с обычной обмоткой возбуждения и расщепленной с пятью группами конденсаторов. Пуск исследован при номинальном напряжении сети и сопротивлении разрядных резисторов 1,6 Ом. Статический момент принят равным 0,3 от номинального момента двигателя [3]. Установлено существование нескольких максимумов, обусловленных разнесением резонансных эффектов групп с расщепленной обмоткой возбуждением практически в 1,5 раза выше, чем при использовании традиционной обмотки возбуждения. При этом превышение амплитуды колебаний электромагнитного момента не превышает 12%. Снижается и амплитуда колебаний тока демпферной обмотки. Ток статора по сравнению с традиционным двигателем в начале пуска практически не изменился. Незначительное увеличение амплитуды тока имеет место при переходе с первого максимума на второй. На резонансных частотах ток обмотки возбуждения увеличивается практически вдвое, а вне их он близок к току обмотки обычной конструкции. Сделан вывод, что в целом использование конденсаторов в системе расщепленной обмотки возбуждения влияет на уровень токов всех обмоток двигателя [4]. Как следствие, изменяются их температурные режимы. Для их оценки по методу [5] исследована степень перегрева при новой обмотке возбуждения и традиционной. Оценка перегрева осуществлена для прямого пуска двигателя. Учитывались токи обмоток и продолжительность пуска, что позволило оценить количество теплоты, выделяющееся в обмотках. В результате исследований установлено, что перегрев обмотки возбуждения снизился на 12,7 %, а демпферной обмотки – на 6,2 %. Продолжительность пуска модернизированного синхронного двигателя на формируемом участке скольжений снизилась на 8%.

Оценка ожидаемого экономического эффекта от использования новой конструкции обмотки возбуждения произведена на примере двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 мощностью 4 МВт с номинальной скоростью вращения 75 об/мин. Двигатель используется в качестве приводного для мельницы самоизмельчения ММС-9000х3000. Запас установленной мощности привода 1,176 обусловлен трудностями запуска двигателя с номинальной нагрузкой при снижении напряжения питающей сети на 15%. Модернизация системы возбуждения двигателя позволяет использовать его с номинальной нагрузкой и соответствующим увеличением производительности мельницы. Поскольку по технологическим условиям мельница ММС-9000х3000 может использоваться с повышенной нагрузкой, то возможно использование пяти мельниц с модернизированными двигателями вместо шести с серийными. Стоимость мельниц и двигателей принята по данным заводов изготовителей, а их массы – по данным [6]. В результате предлагаемой замены ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработки составит около \$ 4 млн при сроке окупаемости 2,12 года.

Выводы. Для обеспечения требуемой формы пусковой характеристики емкости и количество конденсаторов отдельных групп должны отличаться. При этом из-за взаимовлияния отдельных групп емкость их конденсаторов и количество полюсов в группах следует определять оптимизационным методом, учитывающим требования к желаемой форме пусковой характеристики с учетом возможного снижения уровня напряжения сети во время пуска и требования сохранить пусковой момент равным паспортной величине. Решение оптимизационной задачи целесообразно осуществлять при помощи стандартной функции Minimize пакета Mathcad. При этом в качестве интегрального критерия оценки формы характеристики следует выбирать минимум несмещенного стандартного отклонения расчетной формы характеристики от требуемой желаемой.

Литература.

1. А.с. №1494152 А1 СССР, МКИ Н 02 К 19/36. Синхронный электродвигатель /Д.К. Крюков, В.И. Кириченко, Е.П. Островский, Е.В. Лаврухина, А.С. Бешта и С.А. Тенчурин (СССР). - №1043796/24 – 07; Заявлено 15.09.87; Опубл. 15.07.89, бюлл. №26. – 2 с.
2. Патент Украины "Синхронный двигун" //Кириченко В.И., Гомилко В.С., Бородай В.А. UA 31044 А, 6 В 02К 19/36, 15.12.2000, бюл. №7-II.
3. Бородай В.А. Оценка динамики привода горных машин с тяжёлым пуском // Горная электромеханика и автоматика. Национальный горный университет. Выпуск 70. –2003г.– С.19-21.
4. Выбор и компоновка внешних конденсаторов синхронных двигателей с обмоткой возбуждения специальной конструкции // Пивняк Г.Г., Кириченко В.И., Бородай В.А. и др. / Международная научно-техническая конференция «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» Харьков: НГПУ, 2002.
5. И.М. Постников. Проектирование электрических машин // Киев: Государственное издательство технической литературы УССР.–1960. – 910 с.
6. Подрібновання. Енергетика і технологія. П27. Навч. посібник / Г.Г. Півняк, Л.А. Вайсберг, В.І. Кириченко та ін.: За редакцією акад. Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. –2006. – 314 с.